



TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES

CHEMINS DE FER

AVIS AU RELIEUR

POUR LE PLACEMENT DES PLANCHES.

Ch. Lahure, imprimeur du Sénat et de la Cour de Cassation
(ancienne maison Crapelet), rue de Vaugirard, 9

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES J. Gay prof.

CHEMINS DE FER

PAR

AUG. PERDONNET

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES
MEMBRE DU COMITÉ DE DIRECTION DES CHEMINS DE FER DE L'EST
ADMINISTRATEUR DU CHEMIN DE L'OUEST (SUISSE), ETC.

TOME SECOND

PARIS

LANGLOIS ET LECLERCQ

10, RUE DES MATHURINS-SAINT-JACQUES

1856



AVERTISSEMENT.

Nous traitons dans ce second volume de la disposition des gares ou stations, de la construction des locomotives et des nouveaux systèmes de locomotion.

La disposition des gares est une question importante qui, jusqu'à ce jour, n'a été que fort imparfaitement étudiée. Nous n'avons pas la prétention de l'avoir tranchée, mais nous croyons avoir réuni beaucoup d'éléments qui aideront à la résoudre.

Nous nous sommes attaché, en décrivant les locomotives, à faire connaître non-seulement celles qui ont figuré au palais de l'Industrie, mais encore les différentes espèces de machines que l'on essaye en ce moment sur nos chemins français et dont les modèles n'ont pas figuré à l'Exposition.

Notre appréciation de quelques-uns des systèmes nouveaux de locomotion pourrait sembler sévère, mais nous ne l'avons hasardée qu'après avoir consulté les hommes les plus expérimentés. — Parmi ces systèmes, il en est deux, le système Arnoux et le système atmosphérique, sur lesquels nous sommes entré dans d'assez longs détails, parce que, s'ils ne paraissent pas applicables dans la généralité des cas que présente l'exploitation des chemins de fer, il n'en est pas moins utile d'examiner s'ils ne pourraient pas conduire à la solution d'un problème dont on s'occupe beaucoup aujourd'hui et qui, selon nous, n'offre pas d'aussi grandes difficultés qu'on

le suppose généralement, celui du passage des hautes montagnes, au moyen des chemins de fer.

Nous n'avons pu, dans un *Traité élémentaire* dont le cadre est limité, entrer dans de longs et minutieux détails de construction. Nous les donnerons dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*, ouvrage essentiellement technique, que nous avons rédigé en commun avec M. Camille Polonceau. Les circonstances nous ayant forcé d'en suspendre la publication pendant près de huit années (1848 à 1856), les nouvelles livraisons seront enrichies de nombreux et intéressants documents que nous avons rassemblés pendant ce long espace de temps.

On nous a reproché d'avoir omis de consacrer un chapitre à la télégraphie électrique. — Ce n'est pas que nous en méconnaissions l'utilité, mais la description des appareils électriques appartient plutôt à un Traité de l'exploitation des chemins de fer qu'à un Traité de la construction.

TRAITE ÉLEMENTAIRE

DES

CHEMINS DE FER.

CHAPITRE IX.

DE LA DISPOSITION DES GARES.

GARES EXTRÊMES.

Composition des gares extrêmes considérées dans leur ensemble.

Généralités. — Nous avons essayé de faire sentir plus haut la nécessité de consacrer aux gares un espace suffisant, et nous avons montré que le service, dans celles de certains chemins de fer exploités, est difficile et coûteux parce qu'elles manquent d'étendue.

Leur disposition n'exerce pas sur le service une moins grande influence que leur étendue. Nous l'étudierons en commençant par les gares extrêmes.

Celles-ci doivent toujours renfermer :

1° Outre les voies principales du chemin sur lesquelles partent et arrivent les trains, des voies de service pour les manœuvres des locomotives et pour leur remisage ou pour celui des voitures. Ces voies sont en plus ou moins grand nombre, suivant le plus ou moins d'activité, et suivant la nature du mouvement sur le chemin de fer.

2° Des bâtiments contenant les bureaux de distribution des billets, des salles d'attente, des salles pour le dépôt des bagages au départ et à l'arrivée, et autres accessoires.

3° Des bâtiments spéciaux pour le remisage des locomotives et des voitures.

4° Des réservoirs d'eau, et des grues hydrauliques pour l'alimentation des machines locomotives.

5° Sur les grandes lignes, toujours dans la partie de la gare consacrée au service des voyageurs, des bâtiments pour le service des marchandises à grande vitesse, dites messagerie.

Elles renferment encore très-souvent les bureaux de l'administration de la Compagnie, et quelquefois des ateliers de réparation plus ou moins considérables, avec magasins y attenant.

Enfin, lorsque le service des marchandises le nécessite, les gares extrêmes contiennent de grands bâtiments et d'autres dépendances appropriés à ce service, placés ordinairement sur un terrain spécial tout à fait distinct de celui où sont situés les locaux affectés au service des voyageurs et de la marchandise à grande vitesse.

Les voitures qui conduisent les voyageurs au chemin de fer, ou qui les emmènent, stationnent, sur quelques lignes, en dehors de la gare. En Angleterre, et sur la plupart des nouvelles lignes construites sur le continent (Lyon, Strasbourg, etc.), on a réservé dans l'intérieur des gares un espace destiné aux voitures qui amènent les voyageurs et à celles qui les emmènent. Ces cours sont de nouvelles dépendances de la gare.

Il est nécessaire aussi de réserver des cours d'un facile accès pour le service des marchandises à grande vitesse.

L'espace occupé par les voies, les bâtiments, les hangars ou les cours, est très-variable, comme le mouvement de chaque ligne.

On peut diviser par la pensée, et pour faciliter la description, les gares extrêmes en deux parties qui, en réalité, ne sont séparées par aucune ligne de démarcation, et forment par conséquent un ensemble unique :

1° La partie consacrée spécialement au service des voyageurs et au chargement des chaises de poste (exception faite d'un très-petit nombre de cas particuliers), avec les cours ou remises qui en dépendent immédiatement, et les bâtiments contenant les bureaux, les salles d'attente, salles de bagages, etc., partie où, sur les chemins anglais ou français, les voies principales sont toujours bordées de trottoirs.

2° La partie située au delà de l'extrémité des trottoirs de voyageurs, et où se trouvent les changements de voie, réservoirs, bâtiments spéciaux pour le remisage des wagons ou des locomotives, les ateliers, magasins, halles couvertes et dépendances nécessaires pour le service des marchandises.

Sur les chemins anglais et français, les voies longeant les trottoirs qui reçoivent les voyageurs, pour le départ ou à l'arrivée, sont toujours couvertes, ainsi que les trottoirs eux-mêmes et les voies intermédiaires. Cette précaution s'étend même, en Angleterre, à l'espace où stationnent les voitures qui amènent ou attendent les voyageurs.

Nous regardons comme indispensable de couvrir les trottoirs et les voies entre les trottoirs, non-seulement dans l'intérêt des voyageurs, mais aussi pour la conservation du matériel qu'on est obligé de laisser stationner sur les voies.

Les bâtiments renfermant les salles d'attente sont placés à côté des trottoirs, de telle façon que les voyageurs puissent, en sortant des salles d'attente, passer dans les wagons sans être exposés aux injures du temps.

Si, en Angleterre, les voitures déposent le plus souvent sous un péristyle les voyageurs qu'elles amènent aux chemins de fer, il n'en est pas ainsi dans les gares françaises, où, en général, il n'existe pas d'abri pour les voitures.

Au chemin de l'Est, gare de Paris, on vient d'établir dans la cour d'arrivée, le long du bâtiment qui renferme la salle des bagages, une belle et large marquise sous laquelle les omnibus et les voitures pourront charger à couvert les voyageurs et les bagages.

Nous recommandons de faire, autant que possible, descendre les voyageurs de voiture ou de les y faire monter à couvert.

En Belgique, il y a quelques années, les voies étaient rarement couvertes, les bâtiments des salles d'attente étaient souvent éloignés de la voie, et comme les voitures sont très-basses, on n'avait pas établi de trottoirs.

Des travaux importants ont été exécutés depuis lors pour améliorer cet état de choses.

En Allemagne, les voies sont bordées de trottoirs et couvertes; mais le bâtiment des salles d'attente y est quelquefois séparé des trottoirs par un espace découvert.

Le service des marchandises dans toutes les nouvelles gares anglaises et françaises se fait dans un emplacement tout à fait distinct de celui qui est consacré aux voyageurs.

Les voies principales du service des marchandises se détachent alors, à une petite distance de la gare ou dans la gare elle-même, de celles du service des voyageurs. (Gares de Lyon, d'Orléans, de l'Est, de Bristol, de Birmingham, etc., etc.)

Les bâtiments contenant les salles d'attente et les bureaux pour la distribution des billets ou l'inscription des bagages sont tantôt placés sur le côté des voies (chemins d'Orléans; de Versailles, rive gauche, à Versailles, plan fig. 180; de Lyon,

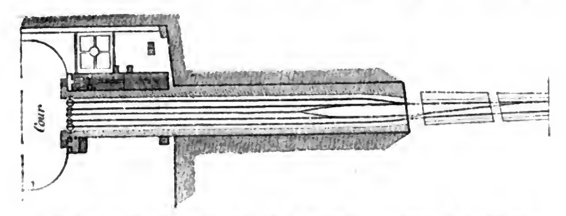


Fig. 180. *Gare du chemin de fer de Versailles (rive gauche), à Versailles.*

de l'Est, de Londres à Birmingham), tantôt à l'extrémité et au travers des voies (chemins du Nord, plan fig. 181; de Rouen, de Bristol, etc., etc.), tantôt au milieu des

voies (chemin de Versailles, rive droite). D'autres fois, comme

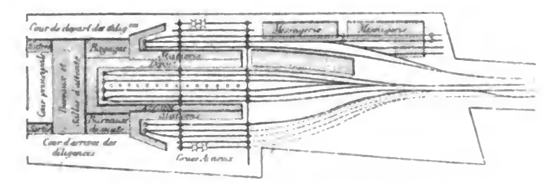


Fig. 181. *Gare du chemin de fer du Nord, à Paris.*

au chemin de l'Est, fig. 182, les salles d'attente et les bureaux de distribution des billets sont placés dans des bâtiments distincts :

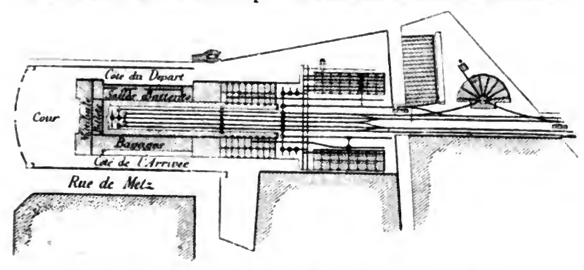


Fig. 182. *Gare du chemin de fer de Paris à Strasbourg, à Paris.*

les bâtiments des salles d'attente sont sur le côté, et celui des bureaux est en tête.

Sur le chemin de Paris à Auteuil, les salles d'attente ont été placées au-dessus des voies, et, au chemin de Montpellier à Nîmes, au-dessous ; mais, comme ces dernières dispositions s'appliquent plutôt aux stations intermédiaires qu'aux stations extrêmes, nous n'en parlerons que plus loin.

Le plus généralement, les convois partent toujours de la même voie, qui est la voie de départ, et arrivent aussi sur la même voie, qui est la voie d'arrivée.

Ces deux voies, séparées par les voies de remisage, sont bordées, l'une par le trottoir de départ, l'autre par le trottoir

d'arrivée (gares d'Orléans, fig. 185; du Nord, fig. 181; de Lyon, fig. 196; de l'Est, fig. 182).

Quelquefois cependant, la voie de départ et la voie d'arrivée sont contiguës, et un seul et même trottoir échancré sert en même temps pour le départ et pour l'arrivée (gare de Derby, plan fig. 183; gare de Huntsbank).

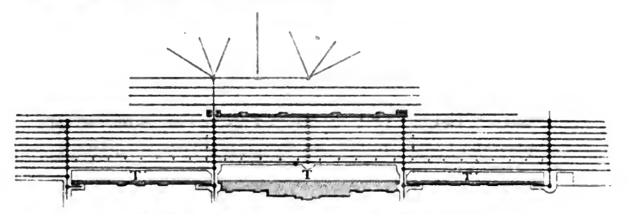


Fig. 183. *Gare du chemin de fer de Londres à Derby.*

Enfin il arrive aussi que les mêmes voies et les mêmes trottoirs servent alternativement pour le départ et pour l'arrivée (chemin de Versailles, rive droite, fig. 184; chemin de Saint-Germain).

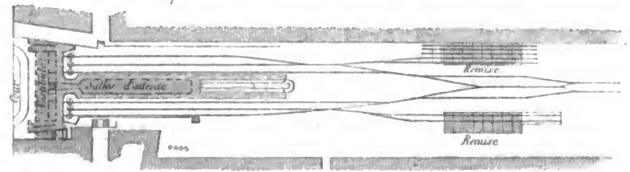


Fig. 184. *Gare du chemin de fer de Paris à Versailles (rive droite), à Versailles.*

Lorsque les convois arrivent et partent toujours sur la même voie, il faut nécessairement, à chaque voyage, faire passer les wagons de la voie d'arrivée à la voie de départ. Cette manœuvre se fait ordinairement avec les machines locomotives, au moyen des changements de voie. Quelquefois aussi les wagons passent d'une voie sur l'autre par les plaques tournantes.

C'est pour éviter cette manœuvre, sur les chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive droite), fig. 184, où les départs

ont lieu quelquefois de quart d'heure en quart d'heure, qu'on est parti alternativement sur l'une et sur l'autre voie, et qu'on s'est trouvé ainsi amené à construire, sur le chemin de Saint-Germain, deux bâtiments de salles d'attente, un de chaque côté des voies, et, sur le chemin de Versailles (rive droite), un bâtiment entre les trottoirs, au milieu de la gare.

De quelque manière que soient placés le bâtiment des salles d'attente et le bureau, il est convenable qu'il existe du côté du départ, aussi bien que du côté de l'arrivée, une cour fermée par une grille.

Le nombre, la longueur et la disposition des voies varient avec l'activité du service, sa nature et la forme ou l'étendue du terrain que l'on peut consacrer à la gare.

Au chemin de Londres à Douvres (gare de Londres) et à celui de Londres à Birmingham (gare de Birmingham), au chemin du Nord (gare de Paris) et au chemin de Lyon, le nombre des voies entre les trottoirs est de six. Les quatre voies comprises entre la voie de départ contiguë au trottoir de départ et la voie d'arrivée contiguë au trottoir d'arrivée, sont des voies de remisage ou de service. Toutes ces voies sont terminées par des plaques tournantes.

Derrière ces plaques est un trottoir transversal qui réunit les trottoirs de départ et d'arrivée, et derrière ce trottoir, lorsque le bâtiment est sur le côté, une cour dont le sol est au même niveau que le trottoir.

Ce trottoir sert ordinairement, en Angleterre, au chargement de chaises de poste ou de voitures particulières sur des trucks (wagons à plate-forme), que l'on amène pour les recevoir sur les plaques tournantes ou sur une petite portion de voie établie au delà des plaques et pénétrant dans l'intérieur du trottoir.

Le déchargement s'opère ou sur le même trottoir ou sur un autre point à l'extrémité de l'emplacement où stationnent les omnibus (gare de Bricklayers).

Au chemin d'Orléans (gare de Paris), fig. 185, les voies placées entre les trottoirs ont été pendant longtemps au nombre

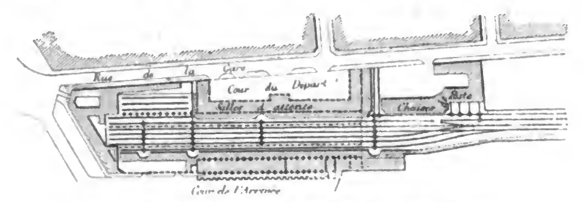


Fig. 185. *Gare du chemin de fer de Paris à Orléans, à Paris.*

de quatre seulement ; il n'y avait donc sur ce chemin que deux voies de remisage ou de service ; mais le terrain le permettant, on a prolongé les voies au delà de la rangée de plaques tournantes formant la limite que ne dépassent jamais les convois de voyageurs, et les voies prolongées sont devenues toutes les quatre des voies de remisage. On a depuis lors porté à six le nombre des voies placées entre les trottoirs, et ajouté sur le côté du départ, à côté des voies de remisage, quatre nouveaux tronçons.

On peut considérer, par conséquent, la gare du chemin d'Orléans à Paris comme composée de deux parties, séparées par une rangée de plaques tournantes, l'une servant de remise aux voitures, l'autre affectée spécialement au service des voyageurs.

Le chargement des chaises de poste a lieu sur une voie posée à gauche de la voie de départ et en dehors de la halle couverte ; le mouvement s'y fait au moyen des voies perpendiculaires et de plaques tournantes spéciales ; le déchargement a lieu presque en face, sur la voie d'arrivée.

On a aussi transporté pendant longtemps, sur le chemin d'Orléans, les caisses de diligences des entreprises de messageries sur des wagons spéciaux. Le chargement de ces caisses n'avait pas lieu dans le même endroit que celui des chaises de poste. Il se faisait dans un emplacement spécial, sur une

voie latérale, au delà des trottoirs, au moyen d'appareils particuliers.

Au chemin de l'Est, les voies couvertes sont au nombre de cinq, et le chargement ou le déchargement des chaises de poste ou des caisses de diligence à transporter sur wagons spéciaux ont lieu sur des voies latérales en dehors de la gare couverte. L'administration de ce chemin est sur le point de poser une sixième voie en rétrécissant les trottoirs.

Au chemin de Lyon, le nombre des voies couvertes est de six, et elles se prolongent, comme au chemin d'Orléans, de manière à servir de voies de remisage.

Au chemin de Versailles (rive gauche), dans l'ancienne gare de Paris, aujourd'hui détruite, le nombre des voies longeant les trottoirs n'était que de trois VV'V" (fig. 186) : une voie de

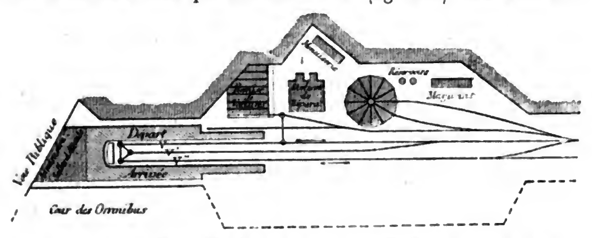


Fig. 186. *Ancienne gare du chemin de fer de Paris à Versailles rive gauche (à Paris).*

départ, une voie d'arrivée, et une voie intermédiaire servant à la manœuvre des locomotives.

Au même chemin, les plaques tournantes n'étaient pas en ligne droite, mais placées aux trois sommets d'un triangle, et les voies se recourbaient à leur approche.

Les voies de remisage se trouvaient à l'extrémité et à côté du trottoir de départ.

Les plaques tournantes servent à faire passer les voitures des voies de remisage sur la voie de départ. Elles servent aussi quelquefois à la manœuvre des locomotives, comme nous allons l'expliquer.

Supposons un convoi arrivé en gare. Les wagons arrêtés, on dételle la machine et on la sépare de son tender. On amène la machine sur la plaque tournante placée à l'extrémité de la voie d'arrivée et on la fait passer au moyen d'une autre plaque sur la voie de service parallèle. On la replace ainsi dans sa position normale, c'est-à-dire la cheminée en tête. On fait passer de la même manière le tender sur la voie de service, et on l'attelle de nouveau derrière la machine. Cela fait, on revient, au moyen du changement de voie, sur la voie d'arrivée où la machine et son tender se trouvent alors en queue du convoi au lieu d'être en tête. On les attelle à ce convoi que l'on fait passer, en le traînant, sur la voie de départ, au travers des voies de service, à l'aide des changements de voie et des voies obliques. On recule sur cette voie, et l'on arrive ainsi devant le trottoir de départ. La machine et son tender quittent de nouveau ce train, et reviennent par les changements de voie se placer au-dessus d'une fosse à piquer le feu et près d'une grue hydraulique. Là, on nettoie la machine, on la graisse, on l'alimente d'eau et de combustible, et on la replace de nouveau sur la voie de départ en tête du train prêt à partir.

On peut aussi faire passer les wagons de la voie d'arrivée sur celle de départ, aussitôt que le convoi est arrivé, en poussant ce convoi, au lieu de le traîner en travers des changements de voie jusque sur la voie de départ, et en l'amenant à reculons devant la voie de départ; mais il n'en faut pas moins faire passer ensuite la machine avec son tender sur les plaques tournantes pour la retourner bout à bout, l'alimenter d'eau et de combustible, et la ramener sur la voie de départ en tête du convoi.

Cette manœuvre est indispensable, car *les machines doivent marcher toujours en tête des convois, en les traînant, et jamais en arrière, en les poussant.*

Si les machines étaient placées derrière le convoi, le mécanicien ne pourrait apercevoir les obstacles que l'on rencontre quelquefois sur les voies, et s'arrêter à temps pour éviter

les chocs. Il arriverait aussi qu'un wagon venant à dérailler, la machine pousserait par-dessus tous les wagons qui le suivent.

Le danger serait le même, quoique beaucoup moins grand, si le tender marchait devant la machine au lieu de marcher derrière. *Ce n'est donc que rarement, et par exception, que l'on doit marcher avec le tender en avant.*

Le service des locomotives s'est fait pendant longtemps, dans les gares anglaises ainsi que dans la plupart de nos gares, comme nous venons de le dire. Aujourd'hui il s'y fait d'une autre façon.

La machine n'accompagne plus le convoi jusque sur la voie d'arrivée. A une centaine de mètres des trottoirs d'arrivée, ou même davantage, les convois s'arrêtent, les surveillants de la gare ou les conducteurs de wagon, circulant sur un petit trottoir spécial, recueillent les billets des voyageurs; la machine, accompagnée de son tender, est détachée du convoi; elle passe, au moyen des changements de voie, derrière le convoi, le pousse jusque sur la voie d'arrivée, vis-à-vis le trottoir, puis, quand les voyageurs sont descendus, le conduit sur la voie de départ. Cela fait, elle se rend seule avec son tender sur une grande plaque tournante d'environ 12 mètres de diamètre, établie à une certaine distance de la portion de gare consacrée au départ et à l'arrivée des voyageurs. On la retourne bout à bout sur cette plaque, sans la détacher du tender, et elle se transporte auprès du réservoir et du magasin de coke d'où, après avoir été alimentée et nettoyée, elle revient sur la voie de départ se placer en tête du convoi (gare de Bricklayers, chemin de Douvres, chemin de Strasbourg).

Au chemin de Lyon, la gare couverte étant très-longue, la machine, au lieu d'employer les plaques pour se dégager, passe à l'aide d'un changement de voies sur une voie de service, pour ensuite, à l'aide d'un autre changement, venir se placer en tête du train ; mais il y a toujours nécessité à ce qu'en défi-

nitive elle fasse usage de plaques pour changer la position du tender qui ne doit pas se trouver en avant. La manœuvre a lieu dans ce cas au dépôt, sur une grande plaque, en dehors de la gare couverte, sans détacher le tender.

Deux voies entre les trottoirs, celle de départ et celle d'arrivée, suffiraient à la rigueur, lorsque la manœuvre se fait, comme aux chemins de Douvres et de Rouen (gare de Rouen), sans que la machine entre dans l'espace réservé entre les trottoirs. Mais quand les machines accompagnent les convois jusqu'aux plaques tournantes de l'extrémité du chemin, il faut toujours, outre les voies de départ et d'arrivée, une voie de service.

Cette voie de service est ordinairement placée entre les voies de départ et d'arrivée. Dans la gare de Bâle, cependant, elle a été posée en dehors. En l'isolant ainsi, on a eu pour but de prévenir les accidents auxquels on eût été exposé en traversant les voies pour se rendre des trottoirs d'arrivée dans la cour de départ, qui, dans cette gare, sert aussi de cour d'arrivée.

Ces voies spéciales sont encore très-utiles pour remiser des voitures de différentes espèces que l'on ajoute suivant les besoins aux convois. Ce n'est donc que lorsque la largeur de la gare ne le permet pas, comme au chemin de fer de Versailles (rive gauche), ancienne gare de Paris, que l'on s'abstient d'en établir.

Si, comme au chemin d'Orléans à Paris ou au *Great Western railway* à Bristol, la gare est très-longue, et que, les salles d'attente étant placées sur le côté, l'on puisse en consacrer une partie exclusivement au remisage, il n'est pas nécessaire de poser un nombre de voies de remisage aussi grand entre les voies de départ et d'arrivée.

Ainsi nous avons vu que, dans la longue gare du chemin d'Orléans à Paris, on n'avait posé dans l'origine que quatre voies en tout entre les trottoirs, tandis que, dans les gares plus courtes du chemin de Londres à Douvres (gare de Londres) et

dans celle de Birmingham du chemin de Londres à Birmingham, on en a posé six.

Sur un chemin de fer qui, comme celui du Nord, réunit au service principal d'une ligne importante un service très-actif de banlieue, six voies et deux trottoirs sont considérés comme insuffisants. Au chemin du Nord, on a posé pour le service de la banlieue douze nouvelles voies en dehors de la gare couverte, et l'on a établi de nouveaux trottoirs couverts le long de ces voies.

Les gares très-larges, quand elles sont couvertes de charpentes hardies et élégantes, comme celle de la gare du Nord, ou celle de la gare de l'Est, prennent un caractère grandiose en harmonie avec l'importance du chemin dont elles forment la tête, caractère que n'ont pas les gares longues et étroites.

Nous recommandons surtout les larges trottoirs tels que ceux des gares de Birmingham, Orléans, Nord, Lyon, etc.

Nous avons vu qu'on plaçait toujours, à l'extrémité des trottoirs de départ et d'arrivée des voyageurs, une rangée de plaques tournantes. Lorsque ces plaques sont en ligne droite, comme au chemin de Londres à Birmingham, il faut, pour les loger, augmenter beaucoup l'écartement des voies. Ainsi, les plaques ayant 4 mètres 25 seulement de diamètre, l'écartement des voies doit être porté à 3 mètres au minimum. On peut réduire cet écartement, ou du moins ne l'augmenter que faiblement, en disposant les plaques triangulairement, comme au chemin de Versailles (rive gauche), ancienne gare de Paris. On peut aussi faire converger les axes de deux ou un plus grand nombre de voies vers une seule plaque, comme on l'a fait aux chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive droite).

On peut faire enfin converger les axes de toutes les voies vers le centre d'une plaque unique, comme au chemin de Newcastle à Carlisle.

Dans ces différents cas, on est obligé de courber les voies aux approches des plaques ; et si alors on ne peut faire usage

que de plaques de petit diamètre, il résulte de cette courbure une grande fatigue pour les hommes qui, après avoir détaché le tender de la machine, sont obligés de le pousser sur la plaque. Cet inconvénient disparaît lorsque les plaques sont, comme celles des chemins de Vienne, et de Newcastle à Carlisle, de diamètre suffisant pour porter ensemble la machine et le tender. Mais alors il faut un personnel spécial pour la manœuvre de cette grande plaque, tandis qu'en la plaçant en dehors de la gare couverte, au dépôt comme au chemin de Lyon, elle peut être manœuvrée, sans surcroît de frais, par le personnel du dépôt. La machine avec son tender, dans ce dernier cas, si elle pénètre sous la halle, se dégage avec avantage du convoi pour aller rejoindre la grande plaque, comme au chemin de Lyon, au moyen d'un changement de voie établi, et d'une voie de service latérale à la voie d'arrivée.

Dans la gare de Metz les plaques sont en quinconce.

Le faible écartement des voies ($1^m,80$) ou largeur de l'entre-voie dans la gare du chemin de Versailles (rive gauche) est sans inconvénient parce que la voie du milieu est exclusivement consacrée au service des locomotives, et qu'il n'existe aucune voie intermédiaire pour le remisage, mais cet écartement serait trop faible pour des voies de remisage. Il est convenable que, pour ces voies, il soit de $3^m,50$ comme au chemin de Lyon, afin qu'on puisse circuler aisément entre les voitures pour les visiter, sans avoir à se préoccuper du mouvement d'un convoi sur une voie contiguë; et même, lorsque l'on veut, comme dans les gares intermédiaires, faire tourner les voitures sur les plaques sans danger, cet écartement doit être porté à 4 mètres.

Lorsqu'on pose une seconde rangée de plaques à l'autre extrémité des trottoirs, ou une troisième dans le milieu, ces plaques, n'étant généralement employées que pour la manœuvre des voitures, peuvent être de petit diamètre.

Comme il importe de ne pas interrompre les voies principales, on emploie souvent alors des plaques à voies perpendiculaires.

Sur les nouvelles lignes, on se sert beaucoup depuis quelque temps de plaques dont les rails qui desservent la voie principale sont continus. Les rails perpendiculaires doivent nécessairement être coupés de manière à permettre le passage du boudin des roues. La surface de roulement de ces rails est à un niveau un peu plus élevé que celui des rails de la voie principale, de façon que les véhicules qui traversent la voie principale passent sur les rails en roulant sur le boudin des roues.

On emploie aussi des chariots pour transporter les voitures d'une voie sur une autre, mais ces chariots ne peuvent servir au transport des locomotives. Ils doivent être disposés, comme celui du chemin de Bristol, comme celui de Dünn, décrit page 471 du premier volume, ou comme tout autre chariot analogue, de manière qu'en les déplaçant on n'interrompe jamais les voies.

On néglige souvent de placer des heurtoirs à l'extrémité des gares; ils nous paraissent cependant indispensables, surtout quand le bâtiment des salles d'attente est en tête. Au chemin de Saint-Germain, avant qu'on eût établi des heurtoirs dans la gare du Pecq, une machine est arrivée avec une telle vitesse, qu'elle a renversé un pan de la maison qui se trouve en tête et qui renferme les bureaux de distribution des billets.

Le heurtoir n'est pas seulement nécessaire à l'extrémité de la voie d'arrivée, car une machine placée sur toute autre voie peut, étant abandonnée à elle-même avec un régulateur imparfaitement fermé, marcher dans un sens ou dans l'autre, selon la position du levier d'embrayage.

Terminant ici la description de la partie antérieure des gares extrêmes et l'exposé des manœuvres à l'arrivée et au départ du convoi, nous reviendrons en arrière pour présenter quelques observations critiques sur les différentes dispositions ou manœuvres dont nous avons parlé.

Comparaison des différentes dispositions. — Nous avons dit que le bâtiment des salles d'attente, le bureau de distribution des billets et les salles de bagages étaient placés tantôt à côté

de la voie de départ, tantôt en tête, et que quelquefois les salles d'attente seules étaient sur le côté, les bureaux pour la distribution des billets ainsi que les salles pour le dépôt des bagages étant placés en tête. Dans un seul cas, sur le chemin de Versailles (rive droite), à Versailles, les salles d'attente ont été placées au milieu de la gare.

Ces différentes dispositions du bâtiment des salles d'attente et de bagages présentent des avantages ou des inconvénients dont nous allons essayer de nous rendre compte.

Si la disposition des bâtiments n'est pas commandée par la forme et par l'étendue du terrain, l'ingénieur ou l'architecte aura, avant de faire son choix, à peser les considérations suivantes :

Les bâtiments étant placés sur le côté, on peut donner immédiatement, des salles d'attente sur le trottoir de départ, issue à un nombre considérable de voyageurs à la fois, ce qui est fort important les jours de grande affluence. Les voyageurs se rendant plus directement des salles dans les wagons, le classement se fait plus facilement et avec plus d'ordre que si les salles d'attente étaient en tête. Cette disposition permet aussi de placer le bureau des bagages le plus près possible du wagon sur lequel on les charge et qui se trouve toujours en tête du convoi, avantage non moins grand pour les lignes de premier ordre où la masse des bagages atteint, à certaines époques de l'année, des limites dont on peut se faire difficilement une idée.

Le principal avantage des bâtiments sur le côté est donc de faciliter le service et de diminuer par suite les dépenses d'exploitation.

On peut aussi, avec cette disposition, se réserver la possibilité de prolonger les bâtiments et les trottoirs, afin de desservir les nouveaux chemins qui viendraient à s'embrancher sur une première ligne exploitée. C'est ainsi qu'à Manchester, on a construit un bâtiment de 150 mètres de longueur, renfermant les bureaux et salles d'attente de trois chemins de fer dont le

service est distinct, le chemin de Manchester à Birmingham, celui de Manchester à Sheffield, et le chemin de Manchester à Ashton under Lyme. Les trois chemins ont alors la même voie de départ.

On peut enfin, en cas de nécessité, prolonger le chemin de fer, sans être forcé de démolir les bâtiments. Au chemin de Bristol on a été obligé, pour prolonger les voies du côté d'Exeter, de renverser un édifice dont la construction avait coûté fort cher.

Mais la construction sur le côté présente aussi quelques inconvénients.

Les principaux sont d'exiger une double façade, l'une en tête du chemin, l'autre sur le côté, du moins si, comme aux chemins d'Orléans et de Londres à Birmingham, l'entrée est placée sur le côté; de ne pas permettre la juxtaposition de nouvelles voies à côté des anciennes pour la création de gares nouvelles, et enfin de forcer à faire partir les voyageurs toujours du même trottoir.

On remédie, à la vérité, à ce dernier défaut en disposant le trottoir comme aux gares de Huntsbank et de Derby. Mais cette disposition n'est praticable que dans certaines localités. Ainsi elle n'aurait pu être appliquée sur les chemins de fer de Versailles, où les convois, composés quelquefois de trente wagons, ont jusqu'à 200 mètres de longueur, et où il eût été impossible de donner 400 mètres de développement aux trottoirs de départ et d'arrivée situés à la suite l'un de l'autre.

Le bâtiment des salles d'attente et celui pour la distribution des billets ont été placés sur le côté aux chemins de Londres à Birmingham (gares de Londres et de Birmingham), sur le chemin de Douvres (gare de Bricklayers), aux chemins de Lyon et d'Orléans (gares de Paris).

Ils sont en tête sur le chemin de Bristol (gare de Londres), sur le chemin de Douvres (gare de Londres), sur le chemin de Southampton (gare de Londres), sur le chemin du Nord (gare

de Paris), sur le chemin de Saint-Germain (gare de Paris), sur le chemin de Versailles (rive gauche) (gare de Paris).

Au chemin du Nord, on a rédigé un projet dont l'exécution aurait pour résultat de reporter sur le côté les salles d'attente qui sont aujourd'hui en tête.

En général, lorsque le bâtiment longe le trottoir de départ, il est d'usage que l'entrée du bureau se trouve sur la face du bâtiment opposée à celle qui borde le trottoir (chemins d'Orléans, Londres, Birmingham, Lyon, etc.). Au chemin de Versailles (rive gauche) toutefois, le bâtiment (gare de Versailles) étant sur le côté du trottoir (fig. 180), on entre dans les bureaux par l'une des extrémités. Au chemin de Londres à Douvres (gare de Bricklayers), on entre aussi par l'extrémité, comme au chemin de Versailles (rive gauche), les jours où l'affluence des voyageurs n'est pas extraordinaire ; mais, aux jours fériés, on ouvre deux portes, l'une à l'extrémité pour les voyageurs de première classe, l'autre sur le côté pour ceux de seconde classe.

En supprimant complétement, comme on l'a fait sur le chemin de Versailles (rive gauche) et sur celui de l'Est, l'admission du public sur le côté, on évite la double façade, mais on se prive de l'avantage de préserver les voyageurs qui font queue des atteintes de la pluie, sous ces galeries couvertes qui longent le bâtiment sur la plupart des chemins d'Angleterre, et il faut consacrer une partie de l'intérieur de l'édifice à un spacieux vestibule.

L'établissement du bureau des billets en tête de la gare présente d'ailleurs un inconvénient bien autrement grave. La salle de dépôt pour les bagages devant en être voisine, se trouve ainsi à une grande distance du wagon à bagages toujours placé en tête du train entre le tender et les voitures de voyageurs. Les bagages sont alors transportés dans ce wagon au moyen de brouettes ou de petits chariots le long du trottoir de départ, comme au chemin de fer du Nord, ou bien il faut, comme au chemin de l'Est, amener sur les voies le wagon

à bagages, en tête de la gare, pour le charger et le ramener ensuite en tête du convoi. Dans l'un et dans l'autre cas, les manœuvres sont longues et coûteuses; dans le premier, les brouettes ou chariots roulant sur le trottoir à l'heure du départ gênent la circulation des voyageurs, et, dans le second, on est obligé de consacrer au service spécial des bagages une voie qui pourrait être fort utile pour le remisage. Au chemin de l'Est, la totalité des bagages ne peut pas être chargée directement dans le wagon amené en tête de la gare, une partie considérable est forcément transportée dans des chariots sur toute la longueur du trottoir. Le chef de la gare a calculé que chacun des hommes qui roulent ces chariots parcourt de 25 à 30 kilomètres par jour.

En plaçant le bâtiment des salles d'attente au milieu de la gare, comme au chemin de fer de Versailles (rive droite), on a eu pour but de se ménager les moyens de partir et d'arriver successivement sur les deux voies latérales aux deux trottoirs qui longent ce bâtiment, et d'éviter ainsi la perte de temps qu'exige la manœuvre par laquelle on fait passer chaque convoi de la voie d'arrivée sur la voie de départ.

Cette disposition est très-ingénieuse sans doute, et il est incontestable qu'on en a tiré un très-heureux parti, mais elle est loin d'être à l'abri de la critique.

Le bâtiment des salles d'attente partageant ainsi la gare en deux parties distinctes, et pour ainsi dire indépendantes l'une de l'autre, la surveillance du chef de gare se trouve divisée d'une manière fâcheuse; il faut un plus grand nombre de voies, puisque, de chaque côté du bâtiment, on doit poser une voie de service pour les locomotives; en outre, la gare couvre un plus grand espace de terrain.

Quelquefois, sans doute, il peut être utile, sur un chemin où, à certains jours, les départs ont lieu de demi-heure en demi-heure, de ne pas être obligé de changer les wagons de voie, au moment de l'arrivée; mais ce cas se présente assez rarement, et l'on parvient d'ailleurs au même résultat d'une ma-

nière plus satisfaisante, à notre avis, en plaçant le bâtiment en tête.

Si l'on compare entre eux les deux modes décrits plus haut pour la manœuvre des machines locomotives au moment de l'arrivée, on trouve que celui qui consiste à recueillir les billets avant l'entrée en gare et à pousser les convois de manière à ne laisser jamais pénétrer les locomotives dans l'espace réservé entre les trottoirs est préférable, en ce qu'il rend le contrôle des billets plus facile, procure l'économie d'une voie de service pour la machine sous la halle, et permet de retourner toujours la machine bout à bout, sans la détacher du tender, sur une grande plaque tournante, mieux placée et plus facile à loger au delà des trottoirs qu'à l'extrémité des voies.

L'ancien mode toutefois présente un avantage, celui de ne pas nécessiter le stationnement des convois à l'entrée même de la gare. Aussi a-t-il été conservé sur les chemins de faible longueur où chaque minute devient précieuse, et même sur plusieurs grandes lignes (chemin de Lyon, chemin du Nord). Au chemin du Nord, on recueille les billets à la sortie de la gare; au chemin de Lyon, on les recueille à la dernière station. Ce dernier mode se prête bien moins à la fraude que le premier. Au chemin de Strasbourg, dans l'origine, les convois directs seuls entraient sous la halle couverte avec la machine, et les billets n'étaient recueillis qu'à la sortie de la gare, ce qui ne présentait aucun inconvénient, parce que ces convois ne contiennent que des voyageurs de première classe.

Suite des généralités. — Il nous reste à parler de la disposition générale de la partie des gares qui se trouve au delà de l'extrémité des trottoirs et de la halle couverte, nous réservant de revenir plus loin, après avoir traité complétement de l'ensemble des dispositions d'une gare d'arrivée ou de départ, sur la distribution intérieure du bâtiment des salles d'attente, le mérite des différentes espèces de remises, etc., etc.

C'est dans cette seconde partie de la gare, avons-nous dit, que se trouvent toujours les changements de voie, les remises

de locomotives, une partie, si ce n'est la totalité, des remises de wagons ; les magasins de coke et réservoirs avec grues hydrauliques, et quelquefois des ateliers de réparation plus ou moins vastes et des bâtiments pour le service des marchandises.

Les changements de voie, sur un chemin à deux voies, doivent être placés de manière que les convois qui marchent sur une même voie dans une même direction ne rencontrent jamais la pointe des aiguilles, et que par conséquent ils ne puissent entrer dans le changement de voie qu'à reculons. Cependant on s'est écarté assez fréquemment de cette règle, soit qu'on y ait été forcé par la nature du service, soit qu'on y ait attaché peu d'importance, parce que les convois ne doivent marcher dans les gares extrêmes qu'à petite vitesse, et que, par conséquent, ils peuvent changer de voie sans grand danger.

La règle que nous venons de poser ne peut s'appliquer, dans tous les cas, qu'aux chemins à une voie.

Nous recommandons surtout de faire entrer toujours les convois dans les gares de marchandises à reculons, comme au chemin de Strasbourg, plutôt que directement, comme au chemin du Nord et de Lyon. La manœuvre de ces convois est alors un peu plus difficile, mais le service devient bien moins dangereux[1]. Il était d'autant plus important, au chemin de Strasbourg, de faire entrer ainsi les convois de marchandises que l'entrée de la gare est masquée du côté de l'arrivée par une courbe et par des bâtiments.

Les voies d'arrivée et de départ doivent toujours être réunies par un changement de voie. Les voies de remisage doivent aussi communiquer directement ou indirectement avec les voies de départ et d'arrivée par des changements de voie.

1. Tout récemment, un accident qui n'a pas été sans quelque gravité a eu lieu sur le chemin de Lyon parce qu'un convoi de voyageurs est entré mal à propos dans la gare des marchandises. — Au chemin du Nord, en pareille circonstance, un mécanicien a été tué.

On emploie avec avantage, pour diminuer l'étendue et la complication des voies et la longueur des gares, le changement de voie à trois aiguilles, décrit précédemment.

Les voies et bâtiments pour le service des voyageurs, des marchandises, des ateliers et l'alimentation ou le nettoyage des locomotives, doivent former, dans la gare, autant que possible, des groupes tout à fait distincts.

Nous offrirons comme un véritable modèle de simplicité à cet égard, la station extrême de Bricklayers, sur le chemin de Douvres (fig. 187).

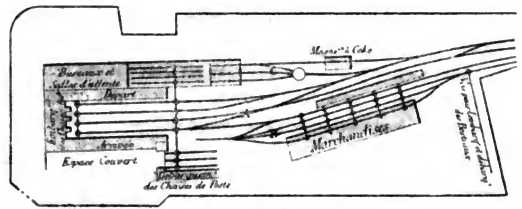


Fig. 187. Gare de Bricklayers.

Le groupe des voies A est affecté uniquement au service des voyageurs, celui des voies B, au service des marchandises, et enfin celui des voies C, au service de remisage, d'alimentation et de nettoyage de locomotives. Il n'y a pas d'ateliers dans cette gare, les machines à réparer sont conduites aux ateliers de Newcross, à une petite distance de Bricklayers.

La disposition des voies dans la gare de Versailles (rive gauche) (fig. 186) est bonne aussi à imiter dans le cas où le service se fait suivant l'ancien mode.

Les remises de locomotives ainsi que les ateliers, lorsque le choix est libre, doivent être placés de préférence du côté de la voie de départ, moins dangereuse à traverser que celle d'arrivée, parce que les machines s'y montrent moins inopinément que sur la dernière. Il convient de les réunir, autant que faire se peut, d'un même côté, afin d'éviter le passage trop fréquent au travers des voies principales.

Au chemin de l'Est, on a établi une remise de locomotives tout près de la gare des voyageurs et une seconde à la distance d'un kilomètre, dans la gare des marchandises. On renonce aujourd'hui à faire usage de la première pour concentrer le service dans la seconde.

Il importe que les grands réservoirs d'eau pour l'alimentation des locomotives soient en communication avec tous les bâtiments, afin de pouvoir, en cas d'incendie, en utiliser presque instantanément le contenu.

Composition des gares extrêmes considérées dans leurs détails.

Bâtiments des voyageurs. — Nous n'avons jusqu'à présent étudié la composition des gares extrêmes que dans leur ensemble.

Si l'on cherche à se rendre compte de la composition d'une gare extrême dans ses détails, on trouve qu'elle renferme toujours, dans la partie spécialement consacrée au départ :

Un vestibule plus ou moins vaste;

Des bureaux pour la distribution des billets aux voyageurs ;

Un bureau d'inscription des bagages et une salle pour le service des bagages au départ ;

Une ou plusieurs salles pour la visite des employés de l'octroi ou des douanes ;

Un bureau pour l'inscription des marchandises, dites *de messagerie* (marchandises transportées avec les voyageurs par les trains de grande vitesse) et une salle pour les déposer ;

Une salle pour le dépôt de ces marchandises à l'arrivée et un bureau pour la distribution ;

Un bureau de réclamations des objets perdus et une salle pour les déposer ;

Un bureau de correspondance ;

Un local pour le télégraphe ;

Un local pour le service de la poste ;

Une ou plusieurs salles d'attente plus ou moins grandes avec dépendances ;

Des salles ou bureaux pour le chef de gare, pour les sous-chefs et pour les gardes, gens de service, etc., etc. ;

Un corps de garde ;

Un cabinet pour le médecin ;

Un cabinet pour le commissaire de police (en France du moins) ;

Une lampisterie ;

Un local pour préparer les chaufferettes ;

Un cabinet pour les effets que les voyageurs ont l'habitude de transporter avec eux dans les wagons, tels que parapluies, manteaux ;

Des urinoirs et des latrines.

Souvent on y a placé également :

Les bureaux de l'administration y compris ceux de l'ingénieur en chef ;

Le logement du directeur de l'exploitation et ceux de certains employés supérieurs, tels que le chef du mouvement, le chef de la gare, etc., etc. ;

Un logement pour le chef des employés de la douane ;

Quelquefois un buffet (chemin de Lyon).

Les vestibules qui précèdent les bureaux de distribution des billets doivent, si le public ne peut s'abriter sous des galeries au dehors, être assez vastes pour contenir le plus grand nombre de voyageurs qui puisse, dans un moment donné, se présenter pour obtenir des places, ainsi que leur famille et les amis qui les accompagnent.

Les dimensions du vestibule du chemin de Versailles (rive droite), à Versailles (336 mètres carrés), satisfont bien à ces conditions.

Celles du vestibule de la gare de la rue Saint-Lazare (380 mètres carrés) seraient très-convenables pour le service des trois chemins qui aboutissent à cette gare, chemins de

Saint-Germain, Versailles (rive droite) et Rouen, alors même que ce vestibule ne serait pas précédé d'un péristyle.

Le vestibule du chemin de fer du Nord enfin, qui a 520 mètres carrés de surface, déduction faite de la partie consacrée à la sortie des voyageurs, et celui du chemin de Strasbourg à Paris qui a 434 mètres carrés, paraissent être de grandeur très-convenable pour des lignes de première importance. Celui de Lyon, cependant, est plus grand encore, sa surface est de 630 mètres carrés.

Lorsque la queue peut se former sous un péristyle au dehors, on doit retrancher de la surface du vestibule calculée suivant la règle que nous venons de donner, celle du péristyle.

Lorsque la gare est en déblai ou au niveau du sol, comme celle du chemin d'Orléans à Paris, et celle du chemin de fer de Londres à Birmingham, les bureaux de distribution des billets et les salles d'attente sont au rez-de-chaussée. Si au contraire la gare est en remblai comme aux chemins de l'Ouest, de Saint-Germain, de Versailles (rive droite) et de Rouen, gares de Paris, ou au Great Western railway, gare de Bristol, les bureaux sont ordinairement au rez-de-chaussée, et les salles d'attente au premier. Au chemin de Nîmes à Montpellier cependant, les bureaux et les salles d'attente de la gare de Nîmes, bien que la gare soit en remblai, sont au rez-de-chaussée.

Les bureaux étant au même niveau que les salles d'attente, sont ordinairement placés au centre, et les salles d'attente, de bagages et de visite sur le côté à droite et à gauche des bureaux : chemins d'Orléans, de l'Est, du Nord (gares de Paris), chemin de Londres à Birmingham (gares de Londres et de Birmingham), chemin de Londres à Derby (gare de Derby).

Aux chemins de Versailles (rive gauche) (gare de Versailles) et au chemin de Londres à Douvres (gare de Bricklayers), les bureaux ont été placés à l'extrémité du bâtiment des salles d'attente, contre le trottoir de départ.

Nous avons déjà signalé les avantages et les inconvénients de cette disposition.

En Angleterre, non-seulement les voyageurs des différentes classes prennent leurs billets à des bureaux distincts, mais encore ils entrent par des portes différentes dans le vestibule des bureaux, et si les salles d'attente se trouvent à un étage supérieur, ils y montent par des escaliers différents; ils ne se rencontrent plus alors qu'après leur sortie des stations à l'arrivée.

En France, où les habitudes sont moins aristocratiques, les billets pour les places de première, seconde et troisième classes se distribuent souvent dans un seul et même bureau, et lorsque les salles ne sont pas de plain-pied avec le bureau, le même escalier sert pour toutes les classes. Ce n'est que dans les salles d'attente que la division s'opère.

Sur la plupart des chemins anglais, les employés qui distribuent les billets ne sont séparés du public que par une table arrondie dont les extrémités s'appuient contre le mur du bureau, ou par une table droite qui s'étend sur une partie plus ou moins grande de la longueur de la pièce.

Sur les chemins français, ils sont renfermés dans une espèce de cage vitrée ou grillée, adossée ordinairement au mur postérieur.

Au chemin de Londres à Birmingham, la table arrondie est surmontée d'une cloison en planches percées de lucarnes par lesquelles se fait la distribution des billets.

Sur les grandes lignes il est nécessaire que l'on puisse distribuer les billets les jours de fête par deux ou trois guichets en même temps.

La superficie des bureaux pour la distribution des billets est, au chemin de Strasbourg, de 25 mètres; au chemin de fer de Lyon, de 95 mètres.

Le bureau d'inscription des bagages et la salle de dépôt des bagages au départ doivent être voisins du bureau des billets. Au chemin de fer de Bâle à Strasbourg, l'éloignement du bureau des bagages de celui des billets, dans les anciennes stations, nuisait beaucoup au service. On a aussi recommandé

de placer autant que possible le bureau de réception des bagages entre le bureau de distribution des billets et les salles d'attente, afin que les voyageurs, après avoir pris les billets, ne soient pas obligés de rétrograder pour se rendre au bureau des bagages.

Cette disposition présente cependant un grave inconvénient. Les hommes de peine portant les bagages au bureau gênent alors la circulation des voyageurs.

Pour faciliter la translation des bagages de la salle où ils sont déposés, ces salles doivent être le plus voisines possible de la tête du convoi où se place le wagon à bagages, et par conséquent de l'extrémité des trottoirs opposée à celle de la gare. Cette condition se trouve plus facilement remplie, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, lorsque les bâtiments des salles d'attente sont placés sur le côté que lorsqu'ils sont en tête de la gare.

Par une raison semblable, la salle pour le dépôt et la visite des bagages à l'arrivée, placée dans un bâtiment construit à côté du trottoir d'arrivée, doit être au contraire voisine de l'extrémité antérieure de la gare. Une barrière établie en travers du trottoir, entre le wagon de bagages et les wagons à voyageurs, permet de transporter les bagages du wagon dans la salle sans gêner les voyageurs arrivant.

Les salles de bagages doivent être le plus vastes possible, afin que la manutention s'y fasse commodément. Quelquefois, les départs de deux trains étant très-rapprochés, la manutention des bagages qu'ils doivent transporter doit se faire presque au même moment. Si la totalité de ces bagages devait être déposée en même temps dans la salle, il faudrait donner à cette salle une énorme surface ; mais on emmène ordinairement et on charge dans le wagon à bagages les colis aussitôt qu'ils ont été pesés, de sorte qu'une partie seulement reste en dépôt. Ce n'est qu'en procédant de cette manière que l'on parvient à faire le service dans les salles des bagages, au départ, du chemin de Strasbourg, bien que la surface de ces salles trop petites ne

soit que de 186 mètres carrés environ, les tables de réception n'ayant que 34 mètres de longueur. La quantité maxima de bagages chargés dans deux trains qui se suivent à une demi-heure de distance, a été, sur ce chemin, de 400 et quelques colis. Les dimensions de la salle des bagages, au départ, du chemin de Lyon, satisfont beaucoup mieux aux exigences du service d'une grande ligne. Cette salle a 580 mètres de surface.

Les salles de bagages à l'arrivée, celle surtout où se fait la visite de l'octroi, doivent être plus grandes que celles destinées au départ. La salle de visite est ordinairement divisée longitudinalement en deux parties par deux tables parallèles qui s'étendent d'une extrémité à l'autre. Ces tables sont distantes l'une de l'autre de $0^m,75$ à $1^m,00$; les facteurs déposent les colis sur celle qui est placée du côté du trottoir d'arrivée. Au moment de la visite on fait glisser les colis sur la seconde table devant le voyageur et l'employé de l'octroi.

Au chemin de Lyon, la surface de la salle d'arrivée est de 714 mètres; au chemin de Strasbourg, de 544 mètres. Cette dernière est insuffisante.

Les bureaux pour l'inscription des marchandises dites messagerie, et les salles pour les déposer au départ ou à l'arrivée, sont ordinairement tout à fait distincts des bureaux des bagages. Ils sont placés à l'extrémité supérieure des gares. Leurs dimensions varient suivant l'importance du service.

Le bureau de réclamation des objets perdus et la salle de dépôt de ces objets sont placés en un point quelconque de la gare facilement accessible au public.

Les salles d'attente se subdivisent en :

Salles d'attente de première, deuxième et troisième classe.

Boudoir pour les dames avec accessoires.

Quelquefois on place les voyageurs des stations dans une salle ou dans un compartiment distinct, afin de pouvoir les faire monter plus facilement dans des voitures spéciales (chemin de Versailles).

Au chemin de Londres à Birmingham, et au chemin de Bristol, on a réservé des salles spéciales pour la reine et pour sa suite, et au chemin du Nord, pour la famille impériale.

En Angleterre, les salles d'attente de première classe sont toujours séparées de celles de seconde et de troisième classe par des murs ou cloisons. Les voyageurs de seconde et troisième classe sont quelquefois confondus les uns avec les autres dans une même salle, quelquefois séparés.

En France, sur quelques chemins (chemin de Versailles), tous les voyageurs réunis dans une salle unique, très-vaste, ne sont divisés en classes différentes que par de légères barrières.

Sur d'autres lignes, comme aux chemins de Lyon et de l'Est, ces barrières sont remplacées par d'épaisses cloisons de $1^m,50$ à 2^m de hauteur, et enfin sur certains chemins (chemin d'Orléans), les salles sont entièrement distinctes, comme en Angleterre.

En Angleterre, les salles d'attente sont très-petites, et souvent pourraient à peine contenir les voyageurs d'un convoi. En revanche les trottoirs de la station sont fort larges et toujours couverts. Lorsque les voyageurs ne sont pas en très-grand nombre, il leur est loisible de s'y promener et d'examiner le chemin jusqu'au moment du départ, ou d'entrer dans les voitures dont les portières sont ouvertes. Lorsqu'au contraire il y a foule, on les invite à monter dans les voitures dix minutes auparavant.

Souvent on limite l'espace dans lequel les voyageurs peuvent se promener sur le trottoir, par des barrières, et on les empêche ainsi de gêner les employés dans leurs fonctions.

En France, on les enferme dans des salles d'attente dont les dimensions sont calculées de manière qu'elles puissent contenir les voyageurs de deux convois les plus chargés que l'on conduise, et tous les voyageurs d'une même classe sortent à la fois de ces salles au moment du départ.

Des deux modes adoptés pour l'embarquement des voya-

geurs, le mode anglais nous paraît incontestablement préférable.

Ces magnifiques trottoirs sur lesquels se promène paisiblement la foule des voyageurs, ces portes toujours ouvertes au public, ces voies nombreuses avec leurs locomotives qui s'arrêtent comme par enchantement dans les gares lorsqu'elles semblent entraînées par une force indomptable, c'est là vraiment un grand et beau spectacle qui donne une juste idée de la puissance et du libéralisme des compagnies qui ont doté leur pays de ces merveilleux instruments de travail. Les voyageurs qui pénètrent librement dans la gare à toute heure, se familiarisent avec les machines en les étudiant. Ils cessent, en les admirant, de les craindre, et c'est ainsi que les chemins de fer deviennent populaires.

En emprisonnant au contraire les voyageurs qui attendent les convois dans les salles où on ne laisse ordinairement pénétrer le jour que par les combles, les compagnies paraissent douter de leur force et n'avoir de confiance que dans les murs les plus élevés pour faire respecter leur propriété. Elles semblent vouloir cacher à tous les regards ce moteur, qui n'est réellement redoutable que pour ceux qui ne le connaissent pas.

Nous conseillons donc l'adoption du mode anglais sur nos chemins de fer, et nous devons ajouter que, sur le chemin de Versailles, nous avons vu, certains jours de grandes eaux, la foule, qui, contenue dans les salles d'attente, était très-turbulente, devenir parfaitement tranquille dès qu'on lui ouvrait les portes, et attendre sans impatience des convois en retard. Le même fait s'est reproduit lors du tir fédéral à Bâle.

Il est très-important que les salles d'attente soient bien aérées, car c'est en été surtout qu'elles se remplissent.

Aux chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive droite), on a cru devoir placer les fenêtres à une grande hauteur pour que le public impatienté d'attendre l'heure du départ ne les brisât point.

Les salles d'attente ainsi éclairées deviennent fort tristes. Nous pensons qu'il vaut mieux leur donner plus de jour, au risque de voir quelquefois les vitres brisées par la foule.

On peut d'ailleurs ne placer des fenêtres que du côté opposé à celui du chemin. C'est ce qu'on a fait dans la gare du chemin de Versailles (rive gauche); ces fenêtres et quelques portes entre les fenêtres s'ouvrent sur un jardin qui, en cas de beau temps, devient une succursale des salles d'attente.

On peut encore aérer les salles d'attente artificiellement.

Enfin il est essentiel, pour ne pas gêner la circulation, de n'établir du côté du chemin que des portes roulantes rentrant dans l'épaisseur des murs.

Les dimensions des salles d'attente doivent être en rapport avec le nombre des voyageurs des différentes classes partant par chaque convoi. Lorsque le service se fait comme en France, chacune des salles d'attente doit pouvoir loger à l'aise deux fois au moins le nombre de voyageurs qu'elle est destinée à contenir.

Le rapport entre les nombres de voyageurs des diverses classes sur les différents chemins de fer varie dans des limites très-étendues.

La superficie des salles d'attente pour les trois classes de voyageurs est

Au chemin	de l'Est,	de 485	mètres.
—	de Lyon,	415	»
—	du Nord,	365	»
—	d'Orléans,	310	»

Le mouvement moyen journalier des voyageurs dans la gare de Paris du chemin de Strasbourg

est de { départ, 1450;
arrivée, 1527.

Le nombre maximum des voyageurs se présentant en même temps pour le départ, a été de 1005.

Pour déterminer l'étendue à donner aux salles servant aux voyageurs des différentes classes, il faudrait bien se garder d'établir entre les surfaces de ces salles exactement le même rapport qu'entre les moyennes des voyageurs présumés devoir occuper les voitures de chacune des trois classes. Ce rapport n'est pas toujours le même. Il varie pour les différentes stations, et non-seulement le nombre absolu, mais encore le rapport de ce nombre au nombre total est beaucoup plus grand certains jours de l'année que les autres jours. C'est le nombre maximum qui doit servir à déterminer les dimensions des salles.

Ainsi, supposons un chemin sur lequel le nombre moyen des voyageurs de troisième classe, partant chaque année d'une des gares extrêmes, soit de 60 pour 100 du nombre total des voyageurs, et dont les convois les plus chargés, les jours de fête, soient de 300 personnes ; si l'on admettait pour rapport entre le nombre des voyageurs de troisième classe et le nombre total des voyageurs dans ces convois de 300 voyageurs, ce rapport moyen de 60 pour 100, il s'ensuivrait que les convois les plus chargés ne porteraient jamais au delà de 180 voyageurs de troisième classe, et que, par conséquent, il suffirait que la salle d'attente en pût renfermer 360. Il arrive cependant que les jours de certaines fêtes populaires la proportion des voyageurs de troisième classe augmente sensiblement ; il faut donc prévoir cette augmentation.

Sur nos chemins des environs de Paris, le nombre total des voyageurs de différentes classes se trouvant en même temps dans les salles d'attente certains jours, à certaines heures, est énorme.

Ainsi, on a vu à Versailles, quelques moments après que les grandes eaux avaient cessé de jouer, l'immense salle d'attente du chemin de la rive droite, qui peut contenir plus de 2500 personnes, entièrement remplie et la foule se presser encore dans le vestibule.

Il partait alors, de demi-heure en demi-heure, des convois

qui, composés de 25 à 30 wagons, emportaient jusqu'à 1200 voyageurs à la fois.

L'espace réservé pour chaque voyageur dans les salles d'attente doit être proportionnellement plus grand pour ceux de première que pour ceux de seconde, et que pour ceux de troisième. C'est là encore une circonstance dont il faut tenir compte lorsqu'on calcule les dimensions des compartiments consacrés aux différentes classes.

Quand la gare est en remblai ou sur arcades, les escaliers qui conduisent aux salles d'attente peuvent n'être pas très-larges, puisque les voyageurs montent successivement et en petit nombre après avoir pris leurs billets; mais il n'en est pas de même des escaliers de sortie : ils doivent être très-larges et ne pas être trop roides. Nous conseillons aussi d'établir une main courante dans le milieu comme on l'a fait au chemin de Saint-Germain.

Les bureaux pour le chef de gare, les surveillants et gens de service, sont indifféremment établis dans le bâtiment des salles d'attente, comme aux chemins de Lyon et de Strasbourg (gare de Paris), ou dans des bâtiments spéciaux, comme au chemin de Versailles (rive gauche), gare de Versailles.

Le bureau du chef de gare doit toujours se trouver dans l'intérieur même de la gare, à proximité des trottoirs. Lorsque le bâtiment des salles d'attente est sur le côté, on peut le placer dans ce bâtiment même; mais quand il est en tête, il faut lui affecter hors de ce bâtiment un local spécial plus voisin du trottoir de départ.

Le cabinet du médecin doit être d'un facile accès pour les employés.

Le commissaire de surveillance est, sur quelques chemins, celui d'Orléans, par exemple, logé dans un bâtiment spécial; sur d'autres lignes, au chemin de Strasbourg, son bureau se trouve dans le bâtiment des salles d'attente, près de celui du chef de gare.

On a trop négligé sur nos chemins de fer l'établissement des

lieux d'aisances et des urinoirs. Les chemins de fer anglais offrent sous ce rapport d'excellents modèles.

Il importe particulièrement de les bien ventiler et d'y amener une quantité d'eau suffisante.

C'est surtout dans les cours d'arrivée qu'il importe de donner aux urinoirs de grandes dimensions.

Les bureaux de l'administration centrale sont ordinairement placés à l'une des extrémités du chemin. Il en est ainsi pour tous les chemins qui aboutissent à Paris.

Sur le chemin de Strasbourg à Bâle, ils ont été longtemps placés à Mulhouse, à une certaine distance des extrémités, mais on les a depuis transférés à Strasbourg.

Quand la ligne est très-courte, comme aux chemins de Versailles et de Saint-Germain, la compagnie n'a de bureaux pour l'administration qu'à l'une des extrémités; quand elle est longue, comme celle de Strasbourg, on établit quelquefois des bureaux auxiliaires à l'extrémité où ne se trouvent pas ceux de l'administration centrale.

Les bureaux de l'administration sont ordinairement situés dans le même bâtiment que les salles d'attente et de bagages, comme aux chemins de Londres à Birmingham, de l'Est, du Nord; quelquefois cependant ils sont dans un bâtiment distinct, comme aux chemins d'Orléans, de Rouen, de Lyon. Dans ce dernier cas, il est essentiel que le bâtiment de l'administration soit voisin de la gare, et qu'on puisse communiquer facilement de l'un à l'autre.

Si les bureaux de l'administration font partie du bâtiment des salles d'attente, ils se trouvent assez ordinairement à un étage supérieur ou inférieur à celui de ces salles, suivant que le chemin est de niveau, en déblai, ou en remblai.

Le service de l'administration doit être entièrement distinct de celui de l'exploitation; il importe donc que l'on parvienne dans le local qui lui est affecté par des escaliers spéciaux, et jamais par ceux des salles d'attente.

Les bureaux de l'administration centrale renferment deux départements bien distincts :

Le département de l'administration et de la comptabilité générale ;

Le département des constructions et de l'exploitation.

Le département de la comptabilité doit contenir :

Des bureaux composés chacun d'un salon et d'un cabinet avec antichambre pour les directeurs ;

Un local spécial pour le dépôt des titres ;

Une caisse ;

Des bureaux spéciaux avec antichambre pour le secrétaire général et le chef du contentieux ;

Des bureaux pour les teneurs de livres, agents du contentieux et autres commis, en nombre plus ou moins considérable, suivant l'importance de la ligne ;

Une salle pour les réunions du conseil d'administration ;

Un local pour les archives de la comptabilité.

Le département des constructions se compose :

De bureaux avec antichambre pour le directeur de l'exploitation, l'ingénieur en chef de la voie, l'ingénieur en chef du matériel, le chef du service commercial ;

De bureaux pour les employés du service central, du mouvement, du contrôle, du service commercial, des réclamations, des travaux et du matériel ;

De bureaux pour les dessinateurs ;

De locaux pour les archives.

Il est essentiel d'établir des lieux d'aisances spéciaux pour les bureaux de chaque département.

Les différents bureaux, ainsi que la caisse, doivent, autant que possible, avoir une issue sur un corridor.

Il est très-important que les communications entre ces bureaux soient le plus faciles possible. Au chemin de l'Est, où ils sont répartis dans des bâtiments différents, séparés par de longues galeries, le service est difficile.

Pour obvier jusqu'à un certain point à cet inconvénient et

agrandir l'espace qu'ils occupent, on en a construit de nouveaux le long des galeries, et l'on est sur le point d'établir une passerelle suspendue entre les deux pavillons nord-ouest et nord-est afin d'abréger le parcours entre ces deux points.

Les plans ou dessins ne pouvant être convenablement exécutés dans des salles mal éclairées, les bureaux de l'ingénieur doivent recevoir le plus de lumière possible.

Nous regardons aussi comme essentiel que les salles pour les archives soient très-vastes, afin que l'on puisse classer avec un ordre parfait les nombreux documents de toute espèce dont les chefs de l'exploitation d'un chemin de fer doivent soigneusement faire collection.

Le désordre dans les archives a pour conséquence le désordre dans l'exploitation, et, par suite, des pertes considérables pour une compagnie.

Le salon du directeur ou la salle de réunion du comité de direction sert souvent de salle de réunion pour le conseil d'administration, mais il ne peut être assez vaste pour y réunir l'assemblée générale d'une société anonyme. Ces assemblées ont lieu ordinairement dans un local particulier, au centre de la ville.

Il n'est pas de règle à établir, on le conçoit, pour calculer les dimensions des bureaux de l'administration, comme pour déterminer celles des salles d'attente.

Les trottoirs sont en bitume, en dalles ou planchéiés.

Nous avons déjà insisté sur les avantages que l'on trouve à leur donner une grande largeur.

Leur hauteur était calculée anciennement, de manière que leur niveau se trouvât de quelques centimètres seulement au-dessous du plancher de la voiture, afin que les voyageurs y pussent entrer sans se servir des marchepieds et sans se baisser outre mesure pour franchir la portière. *On trouve aujourd'hui plus convenable d'abaisser les trottoirs au niveau des marchepieds.* Leur hauteur se trouve alors réduite à 35 centimètres. Cette modification présente, pour le service de la gare,

ce grand avantage que l'on peut établir, au travers du trottoir, des voies transversales en lui donnant simplement une légère courbure à l'emplacement de ces voies, sans qu'il soit nécessaire, comme avec les trottoirs de 90 centimètres, d'y pratiquer une large ouverture qu'il fallait recouvrir d'un pont-levis. Les mouvements des employés dans l'intérieur des gares en deviennent aussi beaucoup plus faciles.

Quant à la longueur des trottoirs, elle doit être égale au moins à celle des plus longs convois ordinaires, et il importe de ne placer au dehors de leur extrémité, et sur un certain espace, aucun appareil, aucun obstacle quel qu'il soit qui puisse empêcher les voyageurs de monter dans les voitures ou d'en descendre, lorsqu'aux jours d'affluence extraordinaire on est obligé de composer les convois d'un nombre de wagons tel qu'ils deviennent plus longs que les trottoirs.

La portion de la gare occupée par les voies entre les trottoirs sous la halle couverte ne doit pas être ballastée comme les parties extérieures. La poussière du ballast tombant sur les voitures en rendrait le nettoyage plus difficile. Le sol entre les voies est alors consolidé au moyen d'un briquetage, d'un pavé en pierre ou d'un pavé en bois.

Au chemin de Strasbourg, le pavage en bois, préparé dans les ateliers, n'est pas revenu à plus de 4 francs le mètre carré.

Composition et disposition des remises de voitures. — Les remises sont de deux espèces : celles pour les voitures et celles pour les locomotives.

Les premières consistent assez souvent dans de simples hangars, qui contiennent des ateliers pour l'entretien de la menuiserie, de la sellerie et de la peinture.

Les parties de ces remises consacrées à la peinture des wagons doivent être bien aérées et suffisamment éclairées.

Les remises de wagons sont quelquefois à deux étages. C'est alors au second étage que se trouve l'atelier des peintres.

Les voitures sont élevées à l'étage supérieur au moyen de

machines. Les wagons, dans les remises, passent d'une voie sur une autre, tantôt au moyen de plaques tournantes, tantôt au moyen de chariots de service.

L'usage des chariots de service est beaucoup plus économique que celui des plaques tournantes, aussi leur donne-t-on généralement la préférence[1].

Composition et disposition des remises de locomotives. —Les remises de locomotives, servant souvent d'ateliers pour les petites réparations, doivent être construites avec plus de soin que les remises de wagons.

Aujourd'hui, sur les nouvelles lignes, on se sert de remises polygonales ou rotondes, de demi-rotondes, de remises en fer à cheval, de remises rectangulaires avec de grandes plaques établies au dehors, et enfin de remises rectangulaires avec un chariot au lieu de plaques pour la manœuvre des locomotives.

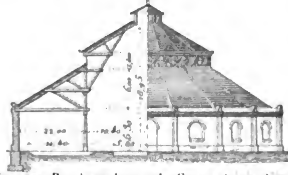


Fig. 188. *Remise polygonale. Coupe et élévation.*

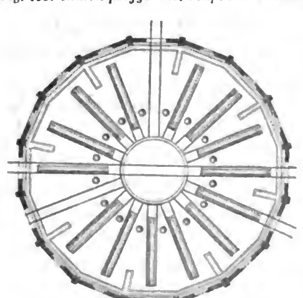


Fig. 189. *Remise polygonale. — Plan.*

Anciennement, on employait assez généralement des remises rectangulaires, où la manœuvre se faisait sur de petites plaques à l'intérieur ou à l'extérieur. Ces différentes espèces de remises ont été décrites dans *le Portefeuille de l'Ingénieur*. Nous croyons inutile d'en reproduire la disposition, maintenant abandonnée.

Dans les remises polygonales (fig. 188 et 189), toutes les voies convergent au centre de la remise. Une plaque tournante placée au milieu sert à la manœuvre. On comprend

1. Voir au 1er volume la description des chariots.

aisément comment, au moyen de cette plaque, on peut faire passer à volonté une machine sur l'une quelconque des voies de remisage. Dans les anciennes remises de ce genre établies aux chemins de Versailles (rive gauche) et de Montpellier à Nîmes, la plaque étant de petit diamètre ne pouvait porter que la locomotive seule, tandis qu'aujourd'hui on lui a substitué une plaque de grand diamètre qui porte en même temps la locomotive et le tender.

Le nombre des voies de remisage doit être en rapport avec le diamètre de la plaque, et c'est là un des inconvénients des remises polygonales : ainsi ce nombre, dans les anciennes remises polygonales, avec de petites plaques, était de 12. Mais, comme il faut laisser au moins une de ces voies entièrement libre, afin qu'elle serve de passage aux locomotives pour entrer dans la remise ou en sortir, la remise ne renfermait que 11 machines. Dans les nouvelles remises avec plaques de grand diamètre, le nombre des voies est de 16, et comme on laisse deux voies libres, l'une pour l'entrée des locomotives, l'autre pour la sortie, ou l'une pour l'entrée et la sortie d'un côté, et l'autre pour l'entrée et la sortie du côté opposé, le nombre des locomotives remisées n'est que de 14.

La première remise polygonale a été construite au chemin de Londres à Birmingham, il y a quatorze ou quinze ans. Elle était découverte dans le milieu ; on l'a entièrement couverte depuis.

La remise polygonale du chemin d'Orléans à Paris a été construite sur un modèle semblable. On a également fini par la couvrir complétement.

La première remise polygonale, entièrement couverte, a été, si nous ne nous trompons, établie au chemin de fer de Versailles (rive gauche), à Paris.

Depuis lors, on a couvert les remises polygonales de tous les nouveaux chemins. Les difficultés que l'on rencontrait pour y faire travailler les ouvriers l'hiver et les dommages qu'y

éprouvaient les machines ont conduit à abandonner entièrement les remises découvertes.

Les charpentes de ces remises sont en bois ou en fer. Les charpentes en bois sont les plus économiques ; mais elles n'ont pas, comme celles en fer, l'avantage d'être incombustibles. On se préoccupe peu, toutefois, des risques d'incendie quand on considère :

1° Que les ouvriers circulent dans ces remises jour et nuit ;

2° Qu'un mécanicien ou un chauffeur se trouve toujours sur une machine qu'on allume ou qu'on éteint ;

3° Que les remises sont généralement assez élevées pour que les étincelles atteignent rarement le sommet ;

4° Qu'elles sont ordinairement voisines des grands réservoirs et traversées en tous sens par des conduites d'eau.

Aux chemins de fer de l'Est, les charpentes de toutes les rotondes sont en bois, portées sur des colonnes en fonte (fig. 188).

La couverture se fait en zinc ou en ardoises. Les couvertures métalliques sont promptement attaquées par les vapeurs sulfureuses provenant des locomotives, vapeurs qui, mélangées à la vapeur d'eau condensée, forment de l'acide sulfurique.

Les rotondes sont éclairées par des baies vitrées ouvertes dans les murs, par une lanterne qui, placée au milieu du comble, donne en même temps issue à la fumée, et quelquefois par des châssis à tabatières (rotonde de Derby).

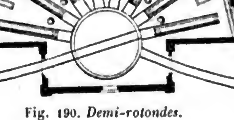


Fig. 190. *Demi-rotondes.*

La fig. 190 représente une demi-rotonde ; la figure 191 une remise en fer à cheval ; la fig. 192 une remise rectangulaire avec des plaques à l'extérieur, établie à Blesme, sur le chemin de l'Est, et enfin

la fig. 193 une remise rectangulaire, avec chariot à l'intérieur, établie à Bar-le-Duc, sur le même chemin.

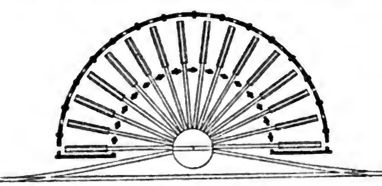


Fig. 191. *Remise en fer à cheval.*

Si l'on compare les différentes espèces de remises de locomotives que nous venons de décrire, on trouve que les demi-

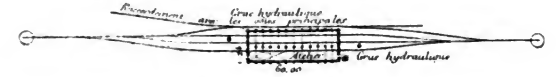


Fig. 192. *Remise rectangulaire de Blesme.*

rotondes sont les plus coûteuses. Une demi-rotonde établie à Paris dans la gare du chemin de Strasbourg a coûté, avec les voies, les fosses et la plaque tournante, 96 000 francs, et on

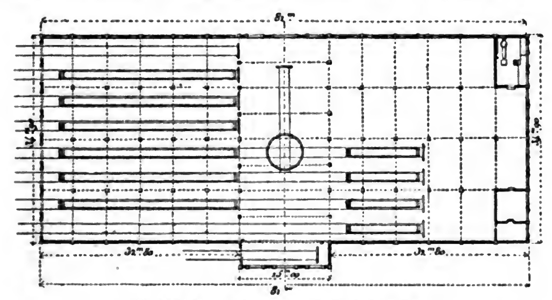


Fig. 193. *Remise rectangulaire de Bar-le-Duc.*

n'y logeait que sept locomotives; en sorte que le remisage d'une locomotive coûtait environ 13 700 francs.

Une rotonde, construite à Épernay sur des séries de prix peu différentes, a coûté avec les fosses, les voies et les plaques, 148 000 francs. Elle contient 16 voies et 14 locomotives. Le

remisage d'une locomotive y coûte donc 10 500 francs. Mais l'administration du chemin de l'Est va construire de nouvelles rotondes qui ne coûteront plus que 130 000 francs, en sorte que le prix du remisage d'une locomotive se trouvera réduit à 9350 francs.

La remise en fer à cheval de la Villette, en appliquant les prix payés à Épernay, aurait coûté, avec les fosses, les voies et la plaque, 135 000 francs. Elle contient 16 locomotives. Le remisage d'une seule machine n'y coûte donc que 8450 francs.

Toutefois la rotonde d'Épernay occupant une surface de terrain de 1675 mètres et la remise en fer à cheval de la Villette, avec les voies et les plaques, une surface de 2137 mètres, on trouverait, si l'on tenait compte du prix des terrains, que le remisage est plus coûteux dans le fer à cheval que dans la rotonde.

Le remisage, dans les anciennes remises rectangulaires, était plus coûteux encore que dans les rotondes, à cause du grand nombre de plaques qu'elles nécessitaient.

La double remise rectangulaire de Blesme, avec les grandes plaques à l'extérieur, a coûté, y compris les fosses, les voies à l'intérieur et à l'extérieur et les plaques, 160 000 francs.

Ce prix est comparable au prix moyen des anciennes rotondes d'Épernay et de Nancy, qui est de 148 000 francs, et à celles des nouvelles, qui est de 130 000 francs.

Le remisage d'une locomotive coûterait alors $\frac{160000}{16}$, soit 10 000 francs, à Blesme, dans des remises rectangulaires, et $\frac{130000}{14}$ francs, soit 9350 francs, dans une rotonde établie dans une localité où les prix seraient sensiblement les mêmes.

Il faut toutefois observer que les voies extérieures comprises entre la remise et les grandes plaques remplacent jusqu'à un certain point une partie des voies placées au dehors des autres remises, telles, par exemple, que celles qui servent à l'alimentation des machines, et que la grande plaque peut être utilisée dans le service de l'exploitation ; il serait donc juste de ne pas

faire peser, ainsi que nous l'avons fait, la totalité de la dépense de ces voies et de la plaque sur les frais d'établissement de la remise. En opérant cette réduction, le remisage, dans les remises rectangulaires semblables à celles de Blesme, deviendrait plus économique que dans les rotondes, les demi-rotondes ou les remises en fer à cheval.

Les remises rectangulaires, telles que la remise de Bar-le-Duc, sont naturellement plus coûteuses que les remises de Blesme, puisqu'au prix de ces dernières il faut ajouter le prix du chariot, de sa fosse, ainsi que celui de sa couverture, lesquels sont d'au moins 20 000 francs. Mais les grandes plaques et les voies qui y conduisent ne sont pas, avec ces dernières, d'une absolue nécessité, puisque la manœuvre peut se faire avec le chariot seul. On peut donc en déduire la dépense du prix de la remise, et elle devient alors de toutes les remises de locomotives la moins coûteuse. On la rendrait plus économique encore en se dispensant de couvrir le chariot.

On objecte à l'emploi des remises polygonales que, si la grande plaque placée au milieu venait à se briser, toutes les machines seraient emprisonnées dans la remise; mais, avec des plaques bien établies comme celles qui sortent aujourd'hui des ateliers de M. Buddicom et des ateliers du chemin de fer de l'Est, cet accident ne doit arriver que très-rarement.

Quant à la surface du terrain occupé, elle est :

Pour la remise polygonale, de 1675 mètres ;

Pour la double remise rectangulaire (y compris les voies au dehors et les plaques), de 3700 mètres.

Au point de vue de la dépense, il faudrait donc placer en première ligne la remise rectangulaire avec chariot, puis la remise rectangulaire avec grandes plaques à l'extérieur, puis la rotonde et la remise en fer à cheval, puis enfin la demi-rotonde.

Mais les rotondes ont des avantages particuliers qui doivent leur faire donner le plus souvent la préférence pour le remisage d'un grand nombre de machines, les remises rectangulaires

étant les seules qui puissent être employées pour le remisage d'une petite quantité.

La surveillance des ouvriers, dans les remises en fer à cheval, est beaucoup plus difficile que dans les rotondes ; le chauffage en hiver y est aussi plus dispendieux à cause du grand nombre de portes ; enfin la manœuvre sur les voies y est plus longue, et comme elle se fait à découvert, ainsi que celle de la plaque tournante, elle devient, dans certains temps d'hiver, extrêmement pénible et coûteuse.

Chaque voie de remisage des rotondes ne portant qu'une seule locomotive avec son tender, on peut dégager une machine quelconque sans déranger les autres. Les remises en fer à cheval partagent cet avantage avec les rotondes. On ne peut dégager les machines isolément et indépendamment l'une de l'autre, dans les remises rectangulaires, qu'autant qu'on n'en place qu'une seule sur chaque voie, ce que la disposition du terrain ne permet pas toujours.

Dans les rotondes et les fers à cheval, les bancs d'ajusteurs, établis le long des murs entre les extrémités des voies, sont parfaitement éclairés par le côté, et l'espace trapézoïdal que limitent les deux fosses sert à loger les ouvriers travaillant aux réparations. Dans les remises rectangulaires, une partie au moins des ajusteurs travaillant aux machines ne sont éclairés que par les combles.

Dans les remises rectangulaires du modèle de la remise de Blesme, la plaque tournante est à découvert comme dans les remises en fer à cheval ; c'est un très-grand inconvénient.

Les chariots, bien qu'ils coûtent fort cher, remplacent avec économie les grandes plaques, puisqu'ils ne nécessitent pas de voies pour y accéder ; mais tels qu'ils sont aujourd'hui la manœuvre en est assez difficile et surtout fort lente. Les ingénieurs cherchent à les améliorer et nous croyons qu'ils y parviendront. Quelques-uns essayent de les manœuvrer à l'aide de la vapeur empruntée à la machine elle-même ; s'ils réussissent,

les remises rectangulaires avec chariot deviendront préférables aux rotondes mêmes pour un grand nombre de locomotives. Dans l'état actuel des chariots et dans le dernier cas, nous regardons les rotondes comme supérieures.

Si, à Blesme et à Bar-le-Duc, la compagnie de l'Est a construit deux remises rectangulaires pour loger seize machines locomotives, cela tient à ce que la configuration du terrain ne lui permettait pas d'établir de rotondes. Partout ailleurs, à la Villette, à Épernay, à Nancy, à Montigny, elle a construit des rotondes.

Il importe d'établir, dans toutes les remises de locomotives, entre chaque fosse, un robinet pouvant fournir de l'eau, soit pour le lavage, soit pour le remplissage des machines, et de donner écoulement aux eaux qui s'amassent au fond des fosses.

Une fosse en maçonnerie régnant au pourtour de la remise et couverte de plaques de fonte sert à loger les conduites d'eau froide pour le nettoyage des machines et celles d'eau chaude pour le chauffage de la remise ; la partie inférieure de cette fosse sert d'aqueduc à chacune des fosses à piquer le feu pour l'écoulement des eaux qui s'y rassemblent.

On dispose quelquefois, au-dessus de chaque machine, des cheminées d'appel en tôle à manteau mobile pour activer l'allumage des machines et rejeter au dehors les produits de la combustion, mais ces cheminées sont très-coûteuses et l'on s'en dispense le plus souvent.

Quand une remise rectangulaire comprend trois voies au moins, il est indispensable de l'éclairer, non-seulement sur les côtés, mais aussi par des tabatières placées dans le toit immédiatement au-dessus des entre-voies, lesquelles doivent avoir une largeur suffisante pour permettre les petites réparations de machines.

Il faut, autant que possible, n'employer les remises de locomotives que pour les réparations courantes et les séparer des ateliers de grandes réparations. On évite ainsi les dérange-

ments qui résulteraient pour les ouvriers des fréquents déplacements des machines en service, et on préserve les machines en grande réparation de l'action destructive de l'acide sulfurique, qui se forme par le dégagement d'acide sulfureux provenant de l'allumage.

Réservoirs de diverses espèces. — Les réservoirs qui servent pour l'alimentation des locomotives se trouvent, avons-nous dit, dans le voisinage des remises. Ces réservoirs doivent pouvoir contenir une quantité d'eau plus que suffisante pour les besoins des jours où le service est le plus actif.

Il est nécessaire, en hiver, de préserver, par un moyen quelconque, l'eau de la gelée. Quelquefois on la chauffe. Le combustible employé étant alors de qualité inférieure, tandis que celui dont on se sert sur les locomotives est toujours de première qualité, il nous paraît convenable de chauffer l'eau des réservoirs, même en été, afin de diminuer les frais de chauffage de la locomotion.

Il convient généralement de porter l'eau des réservoirs à la plus haute température possible, car, de tous les moyens employés pour chauffer l'eau des locomotives, le plus coûteux est sans contredit le chauffage direct par le foyer des machines.

Les réservoirs doivent être en ce cas enveloppés de substances qui empêchent la déperdition de la chaleur.

Lorsqu'on ne chauffe pas les réservoirs, on empêche la congélation de l'eau en les entourant de fumier sur une épaisseur de $0^{m},40$ environ, ou en les revêtant de tresses de paille.

On ne s'est pas suffisamment préoccupé, sur plusieurs lignes de chemins de fer, de l'alimentation et de l'établissement des réservoirs; il en est résulté une grande augmentation des frais d'exploitation ; c'est pourquoi nous croyons nécessaire de traiter cette question avec quelque détail.

L'établissement des prises d'eau pour l'alimentation des machines est une opération importante et délicate qui demande à

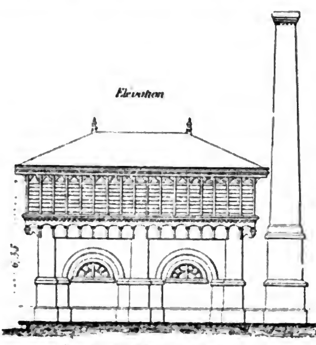
être étudiée avec soin. On doit considérer la nature des eaux, la position de la machine qui doit élever ces eaux et les refouler vers le réservoir, et enfin les appareils destinés à fournir directement l'eau aux machines.

L'examen de la nature des eaux doit précéder toutes les autres opérations. On sait que les eaux incrustantes occasionnent très-rapidement la destruction des foyers et des chaudières. En général, les eaux des grandes rivières sont d'un bon emploi, et on doit les préférer aux eaux de sources. Dans tous les cas, il faut soumettre les unes et les autres à l'analyse chimique. Nous recommandons comme moyen simple et expéditif le procédé hydrotimétrique de MM. Boutron et Boudet. Quand on se détermine à prendre l'eau d'une rivière, on doit établir la prise dans le lit même et ne point se contenter, comme on l'a fait trop souvent, de creuser un puits à quelque distance de ce lit. Ce procédé est le plus commode; mais il est rare qu'il réussisse. L'expérience a prouvé que les eaux des coteaux imbibent l'alluvion des vallées, et que ces puits, loin de fournir l'eau des fleuves, donnent des eaux incrustantes. Le fait s'est présenté au bord de la Seine, dans des puits creusés à quelques mètres seulement de la berge. Il faut donc, ou poser le tuyau d'aspiration en rivière, ou mettre le puits en communication directe avec celle-ci par une tranchée remplie de pierres et de gros cailloux.

La machine à vapeur doit être placée à une faible distance du point choisi pour la prise d'eau, afin de donner la moindre longueur possible à la conduite d'aspiration, qu'il est toujours difficile de rendre parfaitement étanche. D'un autre côté, il y a avantage à placer cette machine dans le dépôt des locomotives, ou plutôt dans le petit atelier qui y est annexé. Elle fournit alors la force motrice qui met en mouvement un petit tour, une machine à percer, etc. Il faut, dans chaque cas particulier, combiner l'ensemble de ces données.

La prise d'eau étant établie, la machine fixe placée, on construit le réservoir, dont la situation est toujours aisée à déter-

miner. Ce réservoir est fait ordinairement en tôle de forme rectangulaire ou de forme circulaire. Cette dernière forme est préférable et plus économique. Un réservoir rectangulaire (fig. 194) de 8 mètres sur 4 mètres, avec $1^m,10$ de hauteur, cubant 35 mètres, pèse 3000 kilogrammes avec les rivets et les tirants. Un réservoir rond (fig. 195) de 4 mètres de diamètre sur $3^m,50$ de hauteur, contenant 43 mètres cubes, ne pèse que 1800 kilogrammes. Un réservoir circulaire de 5 mètres de diamètre, 4 mètres de hauteur, contenant 78 mètres cubes, pèse 2590 kilogrammes. On a établi aussi des réservoirs en fonte formés de plaques boulonnées. Ces réservoirs sont très-solides, et quand les joints ont été bien mastiqués, ils ne donnent lieu à aucune réparation. Un réservoir de ce genre, contenant 250 mètres cubes d'eau, pèse 20600 kilogrammes et coûte 5860 fr., tandis qu'un réservoir rectangulaire en tôle de 200 mètres cubes ($13^m,30$ sur 6 mètres, sur $2^m,50$) ne coûte pas moins de 12000 francs. Quant au support en maçonnerie qu'exigent les réservoirs, l'avantage, au point de vue de la dépense, est encore au bâtiment de forme circulaire.


Fig. 194. *Réservoir rectangulaire.*

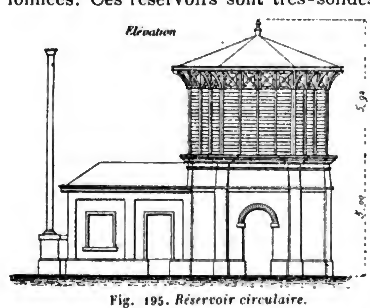


Fig. 195. *Réservoir circulaire.*

Les appareils qui versent l'eau directement dans les tenders sont de trois sortes. Ce sont, ou de petits bâtiments en maçonnerie supportant des réservoirs en tôle de 10 à 12 mètres de capacité et placés auprès des voies (fig. 194 et 195), ou les grues en fonte que l'on voit sur la plupart des chemins, ou, enfin, des grues-réservoirs formées d'une colonne en fonte qui supporte un petit réservoir circulaire en tôle. La grue ordinaire a le grand inconvénient de débiter lentement. Il est rare qu'il faille moins de cinq à six minutes pour remplir un tender de 5 mètres de capacité. L'eau y gèle facilement en hiver, à moins de grandes précautions, et l'entretien en est coûteux. On peut, à la vérité, remédier à la faiblesse du débit, en augmentant le diamètre des tuyaux qui mettent les grues en communication avec le grand réservoir; mais alors on augmente considérablement la dépense d'établissement. Nous ne parlons pas de surélever le réservoir; on n'obtient ainsi qu'une petite augmentation d'écoulement; celui-ci n'est proportionnel qu'à la racine carrée de la hauteur du réservoir, tandis qu'il croît comme le carré du diamètre des conduites. Les petits réservoirs placés près des voies n'ont pas ces inconvénients : les conduites peuvent être faites économiquement et avoir un petit diamètre; l'eau peut être aisément chauffée par un poêle placé sous le réservoir. On reproche à ce système d'encombrer la voie et de masquer la vue dans les stations. L'objection n'est peut-être pas très-grave, car on n'hésite pas à placer aux mêmes points des hangars pour le service des bagages. Souvent même, quand la prise d'eau est rapprochée, ou quand on a pu établir un puits, on supprime le réservoir principal et on se borne à construire, près des voies, les deux petits réservoirs sous l'un desquels on place la machine fixe. On augmente un peu, dans ce cas, la capacité des caisses à eau.

Les grues-réservoirs décrites dans le premier volume, p. 473, ont les mêmes avantages sans avoir les mêmes inconvénients. Elles sont disposées de façon à permettre l'échauffement de l'eau, la colonne de support contenant un foyer autour duquel

l'eau circule. Le petit réservoir est muni de deux tuyaux de prise d'eau placés aux extrémités du même diamètre. Les soupapes y sont d'une manœuvre facile ; le débit est rapide et comme à gueule-bée ; le diamètre des conduites de communication avec le réservoir peut être réduit au minimum : c'est évidemment le système qui réalise la plus grande économie.

Magasins. — L'étendue des magasins dépend de l'importance des approvisionnements qu'ils doivent renfermer. Au chemin de Strasbourg, le magasin central, servant aux ateliers de réparation des locomotives d'Épernay, couvre une surface de 1168 mètres, des galeries règnent à l'entour à une hauteur de $5^m,15$ au-dessus du sol. La surface du rez-de-chaussée du magasin proprement dit est de 1168 mètres ; celle des galeries de 98 mètres ; les bureaux occupent une surface de 288 mètres. Les logements du garde-magasin et du sous-chef de dépôt sont placés au-dessus des bureaux. Une grande cave existe au-dessous.

A côté du magasin est un hangar pour abriter les approvisionnements de bois ; sa surface est de 960 mètres. Ce magasin et ce hangar suffisent largement aux ateliers d'Épernay, dans lesquels il ne faut pas oublier que les locomotives seules sont réparées. La réparation des voitures et wagons se faisant à la Villette, on y a placé un second magasin dont la surface est de 1527 mètres.

Il est très-utile de préserver le coke des intempéries de l'air, car on a reconnu une différence sensible entre l'effet calorique d'un certain poids de coke mouillé et celui d'un poids de coke sec. Cependant, comme le coke ne peut être empilé en tas d'une grande hauteur sans subir un déchet considérable, et que par conséquent il faudrait de très-vastes hangars pour contenir des approvisionnements d'une certaine importance, on trouve, sur la plupart des chemins de fer, de grandes quantités de coke amoncelées sur des chantiers en plein air.

Pour calculer l'espace que doivent couvrir les approvisionnements, il faut supposer que les tas de coke ne doivent pas avoir plus de 2 mètres de hauteur et qu'il faut un approvision-

nement pour un ou deux mois près des gares qui communiquent avec les mines par des chemins de fer praticables en tout temps, et pour quatre ou six mois près de celles où le coke ne peut arriver que par des voies navigables dont le service est interrompu dans les temps de gelée ou de sécheresse.

Il est du reste souvent facile et il convient d'éviter de très-grands approvisionnements en faisant effectuer le transport du coke de la mine au lieu de consommation par voie de fer plutôt que par voie navigable.

Avant de commencer la description des gares de marchandises et pour terminer l'article relatif à celles des voyageurs, nous proposerons, comme type d'une disposition à peu près irréprochable, la gare du chemin de Lyon à Paris (fig. 196), et nous rappellerons les nombreux défauts de celle du chemin de l'Est.

Au chemin de Lyon, les abords du chemin, au départ et à l'arrivée, ne laissent rien à désirer : le vestibule, au départ, est d'une grande beauté ; les salles d'attente et les salles de bagages, au départ et à l'arrivée, sont bien placées et très-spacieuses, les trottoirs ont les dimensions convenables, les voies enfin sont suffisantes pour le nombre et pour la longueur. Au chemin de l'Est, la salle des bagages, au départ, est trop éloignée de la tête des convois et elle est beaucoup trop petite. Celle à l'arrivée est beaucoup mieux placée, mais elle n'est pas assez grande. Les trottoirs sont trop élevés, les voies sont trop peu nombreuses et trop courtes, les bureaux de l'administration sont trop éloignés les uns des autres, et la cour latérale du côté du départ est complétement inutile.

Avec des trottoirs moins élevés et en donnant au pavillon d'avant de plus grandes dimensions, afin de pouvoir supprimer ceux d'arrivée, on aurait pu établir, comme au chemin du Nord, en dehors de la halle couverte, des voies latérales beaucoup plus longues que les voies posées depuis peu de temps. Ces voies eussent été fort utiles. On a trop sacrifié, sur ce chemin, l'utile à la décoration architectonique.

Etage en dessus du Buffet

Etage du chef de Gare

Etage au dessus du mouvement

Rue de Chalons

Rue du Départ

Cour du Départ

Boulevart Mazas

Rampe

Embar[ts] des Chaises de Poste

Vestibule

Salles d'attente

Salles des bagages

Halle couverte

Distribution des Bagages

Vestibule

Cour de l'Arrivée

Etage du sous chef de Gare officier de Police

Débarc[ts] des Chaises de Poste

Embarcadère des Diligences

Rampe de l'Arrivée

Rue de Bercy

Fig. 196. *Gare du chemin de fer de Paris à Lyon (à Paris).*

CHEMIN DE FER DE PARIS A LYON.

LÉGENDE.

Côté du départ.

1	Escalier du service pour les caves.	
2	Petit entretien	Forge et atelier.
3		Magasin des graisses.
4		Magasin des pièces de rechange.
5		Bureau.
6	(Étage)	Ateliers des tapissiers.
7	(Id.)	Magasin.
8	Magasin du matériel du mouvement.	
9	Remise des trucks.	
10	Corps de garde des équipes	Corps de garde.
11	(Étage)	Dortoir des hommes d'équipe.
12	Buffet	Salle du café-restaurant.
13		Buvette.
14	(Étage)	Laboratoire.
15		Dépendances et logements.
16	Salle d'attente	3e classe station au delà de Montereau.
17		— — de Paris à Montereau.
18		2e classe — au delà de Montereau.
19		— — de Paris à Montereau.
20		1re classe — —
21	Passage conduisant aux correspondances et buffet.	
22	Bureau de distribution des billets.	
23	Vestibule du départ.	
24	Passage aux salles de bagages.	
25	Passage aux salles d'attente.	
26	Bureau du chef de gare.	
27	Passage pour le service.	
28	Bouilleurs pour les chauffeurs.	
29	Étage	Bureau du chef de gare.
30		Antichambre.
31	Salle des bagages	Réception et passage des bagages.
32		Bureaux des receveurs de la ligne de Lyon à Troyes.
33		Id.
34	Bureau des articles de messagerie	Dépôt des côtés.
35		Bureau des employés.
36		Réception des articles.
37		Bureau du factage.
38		Chargement des colis.
39	Cabinets d'aisances	Côté des hommes.
40		Côté des femmes.
41		Cabinet des hommes d'équipe.
42		Chambre de la gardienne.
43		Couloir pour les cabinets des femmes.
44	Bureau des correspondances.	

Nota. Il existe des caves sur toute la surface des salles d'attente et de bagages dans lesquelles sont placés des calorifères.

Côté de l'arrivée.

45	Passage conduisant à l'administration à construire ultérieurement.
46	Magasins des litiges.
47	Consigne de la ligne de Lyon.
48	— de la ligne de Troyes.
49	Passage de service.
50	Articles bureau restant de la ligne de Lyon.
51	Dépôt de factage et de la messagerie de Troyes.
52	Bureaux de factage et de la messagerie de Troyes.
53	Passage.

54	Bureau des articles de messagerie........................	Bureau des employés.
55		Chef de bureau.
56		Entrée du public.
57		Dépôt des colis ligne de Lyon.
58		— ligne de Troyes.
59	Salle de distribution des bagages.....................	Distribution et visite des bagages
60		Bureau des sous-facteurs.
61	Vestibule de sortie............	Voyageurs avec bagages.
62		Voyageurs sans bagages.
63		Partie affectée au public.
64	Corps de garde de l'octroi......	Employés.
65		Brigadiers.
66	Commissaire de police.........	Bureau.
67		Antichambre.
68	Corps de garde de la troupe.	
69	Logement du sous-chef de gare. Étage.	
70	Chambre pour le commissaire. Id.	
71	— de l'officier de police. Id.	
72	— des agents de police. Id.	
73	Violon. Id.	
74	Trottoir d'arrivée du lait et des denrées pour le marché.	
75	Bureau de l'employé au lait.	
76	Bureau du mouvement.........	Entrée des bureaux.
77		Poste télégraphique.
78		Salle des conducteurs.
79		Employés.
80		Sous-chef.
81		Salle des chefs de train.
82		Entrée des bureaux
83	Service médical...............	Salle d'attente.
84		Cabinet du médecin.
85	Atelier des lampistes.	
86	Cabinets d'aisances............	Côté des hommes.
87		Côté des femmes.
88		Cabinets des employés.
89		Chambre de la gardienne.
90	Bureau du mouvement (Étage)..	Antichambre.
91		Bureau du chef du mouvement.
92		Magasin du matériel.
93		Dépôt des objets trouvés.

Bâtiments pour le service des marchandises. — La manutention des marchandises se fait généralement, suivant la nature de la marchandise, soit à couvert sur des trottoirs placés sous de grandes halles, soit sur des trottoirs à découvert.

Les halles sont tantôt parallèles aux voies principales, comme aux chemins d'Orléans et du Nord, tantôt perpendiculaires, comme aux chemins de Lyon et de Strasbourg.

La configuration du terrain ne permet pas toujours de choisir entre les deux systèmes. *Quand on peut établir des halles parallèlement aux voies, il ne faut pas hésiter à le faire.* C'est l'opinion de l'habile chef du mouvement dans la gare de la Villette du chemin de Strasbourg, M. Broutin du Pavillon, et de plusieurs autres hommes pratiques que nous avons consultés. Les lignes suivantes ont été rédigées par M. Broutin :

« Dans une gare de marchandises, le système des halles parallèles aux voies principales est à tous égards préférable à celui des halles perpendiculaires. Exigeant un moins grand nombre de plaques tournantes, il simplifie la main-d'œuvre, qu'il diminue d'autant plus que le travail peut être fait en grande partie par une machine ou par des chevaux.

« Avec des halles parallèles, un train de marchandises arrivant peut entrer directement sous les halles, et le débranchement, c'est-à-dire la répartition des wagons aux différents quais, d'après la nature des marchandises qu'ils contiennent, peut être fait par une machine. Une machine peut encore prendre ces wagons quand ils sont déchargés et les conduire aux quais d'expédition ; et là, une fois chargés pour être expédiés, ces mêmes wagons peuvent être enlevés, toujours au moyen d'une machine ou de chevaux, et être conduits sur les voies de garage pour attendre leur mise aux trains.

« La gare des Batignolles (chemin de Rouen), fig. 197, dont

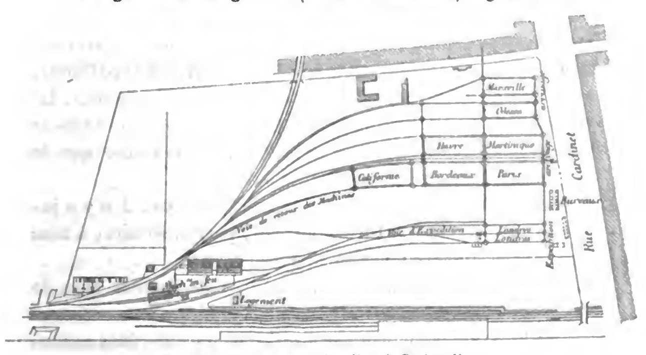


Fig. 197 *Gare des marchandises de Batignolles.*

le système est parallèle, est celle qui offre les plus grandes ressources pour la facilité du travail. Isolée complétement des voies principales, très-vaste et possédant un réseau de voies en éventail qui aboutit par des aiguilles aux voies principales

et se répand dans toutes les parties des gares, cette gare est bien assurément la plus commode et la plus facile de toutes les gares à marchandises de Paris.

« Le système des halles perpendiculaires est loin d'offrir les mêmes avantages que le système des halles parallèles. Le service ne peut être fait qu'à bras, chaque wagon doit être amené sur la plaque qui correspond à la voie de la halle dans laquelle il doit entrer, et encore arrive-t-il souvent que le trajet ne puisse avoir lieu directement; il faut alors prendre des détours qui occasionnent des pertes de temps considérables et de nouveaux inconvénients.

« Avec les halles perpendiculaires, l'arrivée des trains de marchandises se fait toujours sur une même voie, celle qui est munie de plaques en correspondance avec les voies des halles d'arrivée. Deux trains ne peuvent donc arriver à un court intervalle l'un de l'autre, sinon le dernier venu serait exposé à attendre que la rentrée du premier fût complétement achevée, ou, alors, il faudrait le garer sur une voie de service pour le ramener ensuite. De là des lenteurs et du trouble dans le service.

« Le même inconvénient peut se rencontrer aux expéditions, s'il s'agit de former un ou plusieurs trains extraordinaires. Le seul moyen d'obvier à cet état de choses serait donc d'établir plusieurs voies de départ et d'arrivée, c'est-à-dire que le nombre de plaques à poser serait considérable.

« Avec le système des halles perpendiculaires, il n'y a jamais trop de plaques, et il en faudrait, pour ainsi dire, à tous les endroits où deux voies se coupent.

« Je parle ici des halles perpendiculaires établies dans de bonnes conditions, c'est-à-dire de celles qui ont :

« 1° Trois voies coupant par moitié chaque halle dans sa longueur, deux de ces voies longeant les quais destinés à recevoir les wagons à décharger ou à charger, et la troisième, celle du milieu, servant au dégagement des wagons après leur déchargement ou leur chargement ;

« 2° Une ou deux voies simples transversales servant de com-

munication entre les différentes halles de la gare, sans parler, bien entendu, des deux voies simples qui relient ensemble toutes les halles par leur extrémité.

« Ces voies transversales, qui nécessairement traversent toutes les cours, peuvent servir encore à recevoir les wagons dont la manutention est opérée par les destinataires ou expéditeurs des wagons dans leurs voitures, et réciproquement.

« 3° Un écartement convenable entre chaque voie et laissant la possibilité de tourner les wagons sur plaques sans être obligé de faire une coupure sur les voies placées à côté.

« 4° Enfin, indépendamment des voies de départ et d'arrivée, qui doivent toujours être libres, trois ou quatre voies de service parallèles à celles-ci et en communication par des plaques avec les voies des halles dont elles longent les extrémités (ces voies établies dans la plus grande longueur possible et se reliant toutes par des aiguilles avec les voies de départ et d'arrivée).

« L'usage de ces voies consiste à recevoir le trop-plein des halles, soit d'arrivages, soit d'expéditions, en même temps que les wagons dont la marchandise ne doit pas être mise à quai, mais enlevée à la gare ou par les destinataires eux-mêmes, telle que maringottes, cadres, etc., etc.

« Avec ce système de voies intérieures, les voitures et camions ont un accès sûr et constant aux divers quais.

« La gare de Bercy (chemin de Lyon) est établie d'après ce système, mais elle manque de plaques et de voies transversales dans les halles ; la transmission du matériel d'une halle à une autre ne peut être faite que par les voies qui relient ensemble toutes les halles par leurs extrémités. Cette absence de voies transversales augmente beaucoup la main-d'œuvre en allongeant le parcours à faire faire à bras aux wagons qui doivent passer des halles d'arrivages à celles d'expéditions. »

A la note précédente, M. Broutin a joint le tableau (page 59) établi sur les données fournies par les chefs des principales gares à marchandises de nos grandes lignes de chemins de fer, celle de Bercy exceptée. L'on n'a pu se procurer aucun renseigne-

ment exact sur le travail fait dans cette gare, mais ce que nous pouvons affirmer, c'est que les employés du mouvement au chemin de Lyon trouvent que le service se fait bien plus facilement et économiquement dans la halle à marchandises parallèle établie récemment à Lyon que dans la gare perpendiculaire de Bercy.

Les halles, qu'elles soient parallèles ou perpendiculaires aux voies principales, sont disposées à peu près de la même manière sur toutes les lignes de chemin de fer.

Quelquefois le service se fait sur un trottoir unique placé au milieu ; d'un côté se trouve une voie pavée ou ferrée pour les voitures de roulage ; de l'autre sont les voies en fer pour les wagons (fig. 198). Les marchandises à emmener sont déposées par les voitures de roulage d'un côté du trottoir et chargées sur les wagons de l'autre côté.

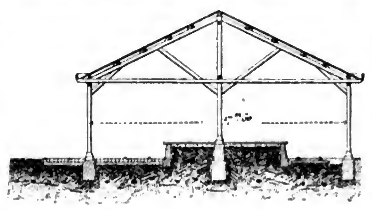


Fig. 198. *Halle à marchandises.*

C'est l'inverse pour les marchandises qui, arrivées par les wagons, doivent être transportées en ville.

Au chemin de Rouen, gare des Batignolles, on a posé des voies de fer des deux côtés du trottoir, et on a réuni ces deux voies par des voies transversales logées dans les coupures faites au trottoir.

L'une de ces voies, celle qui est placée du côté où les voitures de roulage abordent le trottoir, est alors noyée dans le pavé; elle sert à porter les wagons sur lesquels on veut charger les marchandises immédiatement à leur sortie des voitures de roulage sans les faire passer sur le trottoir, et que l'on veut décharger directement dans ces voitures.

Dans les gares de quelque importance, des trottoirs spéciaux sont consacrés aux marchandises partant, d'autres aux marchandises arrivant.

Nous avons cherché à nous rendre compte de l'espace nécessaire pour déposer et manutentionner commodément diverses natures de marchandises. M. Broutin, que nous avons consulté à cet égard, a dressé, pour nous répondre, le tableau, page 60 :

ÉTAT COMPARATIF

DU TRAVAIL EFFECTUÉ AUX DIVERSES GARES DE MARCHANDISES POUR LES LIGNES PRINCIPALES SEULEMENT, ET SANS TENIR COMPTE DU CHEMIN DE CEINTURE.

NOMS des CHEMINS de fer.	NOMS des GARES.	POSITION des HALLES.	TONNAGE JOURNALIER. EN MOYENNE.	NOMBRE JOURNALIER DES WAGONS expédiés et reçus.	NOMBRE de PLAQUES tournantes.	NOMBRE de TOURNEURS de plaques.	NOMBRE de CHEVAUX.	NOMBRE de WAGONS MANŒUVRÉS par homme.
Orléans . .	Ivry [1]	Parallèles. .	tonnes, 1600	500	112	26	5	19
Rouen . . .	Batignolles [2].	*id.*	900	440	38	15	4	29
Nord. . . .	La Chapelle [3].	*id.*	2700	1050	100	120	5	8 ⅓
Est.	La Villette [4]	Perpendic. .	1650	500	140	70	2	7

1. Bien que parallèles aux voies principales, les halles de la gare d'Ivry, à l'exception d'une, ne sont pas en communication directe par des aiguilles avec les voies principales. Il n'y a donc pas de manœuvres à la machine ; tout le travail est fait par des chevaux. La plus grande partie des plaques ayant 4m,20 de diamètre, et étant très-espacées, il suffit de deux hommes par cheval pour tourner les wagons. Le cheval qui mène un wagon plein aux halles d'arrivages ramène un wagon vide aux halles d'expéditions ; à cette gare les arrivages et les expéditions se balancent.

2. Les voies des halles de la gare des Batignolles sont toutes en communication directe par des aiguilles avec les voies principales. Toutefois, pas de manœuvres à la machine, et les chevaux font tout le service. Cette gare est excessivement commode.

3. Les équipes de tourneurs de plaques sur cette ligne sont composées de six hommes, quand elles ne le sont que de cinq dans les autres lignes, notamment à l'Est. En tenant compte de cette différence, il faudrait augmenter d'autant le nombre de wagons tournés par homme, ce qui le porterait à dix.

La charge des wagons étant en moyenne de 10 000 kilos, il faut un plus grand nombre de bras pour les manœuvrer.

Trente hommes et trois chevaux sont employés au mouvement du chemin de ceinture.

4. Travail difficile et qui exige beaucoup de main-d'œuvre ; manœuvres continuelles à la machine, occasionnées par l'établissement du chemin de ceinture de l'autre côté des voies principales.

Vingt hommes sont employés au mouvement du chemin de ceinture.

ÉTAT DES SURFACES

DE QUAI NÉCESSAIRES POUR LE DÉPÔT ET LA MANUTENTION D'UNE TONNE DE CHAQUE NATURE DES MARCHANDISES CI-APRÈS.

NATURE DES MARCHANDISES.	SURFACE PAR TONNE.	OBSERVATIONS.
	mètres.	
Cotons en balles. . . .	5	1° Les fers et fontes doivent être placés d'une manière comptable, c'est-à-dire rangés de telle sorte qu'on puisse compter facilement les barres et sapots de chaque expédition.
Farines et blés en sacs.	2,50	2° Les surfaces ci dessus sont applicables aux expéditions comme aux arrivages, à l'exception toutefois des marchandises diverses pour lesquelles il convient d'ajouter un septième de surface en plus *à l'arrivée.*
Sucre en pains.	8	(Chaque expédition, se trouvant dans cette condition, devant être séparée distinctement de celles qui l'avoisinent, ce qui n'a pas lieu à l'expédition où les marchandises sont placées par stations destinataires seulement.)
Vins en fûts.	5	
Fers et fontes.	2	
Marchandises diverses de toute espèce et de toute nature.	7	

Dans certains moments, on est conduit par la nécessité à loger dans un certain espace et à manutentionner dans cet espace une quantité de marchandises beaucoup plus grande que celle indiquée au tableau, en empilant les colis sur une grande hauteur, mais le service se fait alors à grands frais et dans de mauvaises conditions.

STATIONS INTERMÉDIAIRES.

Composition des stations intermédiaires considérées dans leur ensemble.

Les stations intermédiaires se subdivisent, avons-nous dit, en :

Stations de 1re classe ;

Stations de 2e ou 3e classe.

Tous les convois s'arrêtent aux stations de 1re classe ; une partie seulement à celles de 2e ou 3e classe.

Les stations de 1re classe présentent entre elles de grandes difficultés quant à l'importance du service.

Ainsi les grandes stations de Huntsbank, sur le chemin de Liverpool à Leeds, et celle de Derby, sur le chemin de Londres à Leeds, représentées dans *le Portefeuille*, sont, à proprement parler, des stations de 1re classe, puisque l'une peut être considérée comme station intermédiaire des chemins de Londres et Birmingham à Leeds, qui s'y croisent.

D'un autre côté, eu égard à leur grande importance, on pourrait dire aussi que ce sont des gares centrales formées par la réunion de plusieurs gares d'arrivée et de départ.

Ainsi, en se plaçant à ce point de vue, la gare de Derby serait la réunion des gares d'arrivée et de départ des chemins de Derby à Londres, Derby à Leeds et Derby à Birmingham; celle de Huntsbank, la réunion des gares de départ et d'arrivée des chemins de Liverpool à Manchester et de Manchester à Leeds.

Ces stations des chemins anglais, de même que les stations de Metz et de Nancy sur le chemin de Paris à Strasbourg, celles de Creil et Amiens et de Lille sur le chemin du Nord, d'Orléans, de Tours et de Nantes sur le chemin de Paris à Bordeaux, doivent être considérées comme des stations intermédiaires d'une importance telle, qu'on doit les assimiler à des stations extrêmes et les décrire séparément.

Passant à l'étude des stations intermédiaires, nous nous occuperons d'abord de la disposition des voies. L'usage était anciennement de ne lier, dans les gares intermédiaires, les voies latérales aux voies principales que par une de leurs extrémités, de manière que les machines marchant sur la voie principale ne pussent jamais passer sur la voie latérale qu'en reculant, quelle que fût la position des aiguilles du changement de voie.

Depuis que l'usage des changements de voie à contre-poids s'est répandu, on s'est écarté assez souvent de cette règle, surtout dans les stations de 1re classe où tous les convois stationnent.

Ainsi, dans la gare de Swindon, du chemin de Londres à Bristol, dans la gare de Coventry, chemin de Londres à Birmingham, dans celle de Normanton, chemin de Leeds à Derby, et dans les gares intermédiaires d'un grand nombre d'autres chemins de fer d'Angleterre, on trouve, entre les trottoirs d'arrivée et de départ, quatre voies : les deux voies du milieu, qui sont les voies principales, et les deux voies latérales, qui sont reliées par les deux extrémités aux voies principales.

Les convois de marchandises s'arrêtent seuls sur les voies principales ; les convois de voyageurs passent toujours sur les voies latérales le long des trottoirs de départ et d'arrivée.

Cette disposition n'est pas sans quelque danger. Un aiguilleur ayant un jour, dans la gare de Coventry, ouvert par mégarde la voie latérale pour un convoi de marchandises, ce convoi est venu se heurter contre un convoi de voyageurs qui stationnait devant le trottoir.

Elle doit, dans tous les cas, être prohibée dans les gares de 2e ou 3e classe, où les convois passent souvent à de grandes vitesses sans stationner.

Sur le chemin de Strasbourg, on a adopté pour règle générale de placer la pointe des aiguilles dans le sens opposé à la marche des convois, même dans les stations principales.

Dans les stations intermédiaires de quelque importance, on a donné aux voies de garage pour les trains de marchandises assez de longueur pour qu'elles pussent porter deux trains de marchandises en même temps. L'une des voies est juxtaposée à la voie montante, l'autre à la voie descendante, et les trains de marchandises ne peuvent y entrer qu'à reculons.

Sur les chemins anglais, on a reconnu que depuis qu'on avait supprimé, autant que possible, les aiguilles à contremarche, le nombre des accidents avait considérablement diminué.

Sur certains chemins, on ne fait aucune difficulté pour poser des voies obliques coupant les voies principales ; sur d'autres, les ingénieurs répugnent à interrompre les voies principales

par des croisements de voie qui, toujours difficiles à entretenir, peuvent, s'ils sont en mauvais état, occasionner des accidents. Ils préfèrent multiplier les aiguilles. Les croisements sur les voies principales ne nous paraissent pas très-dangereux dans les stations principales où tous les convois s'arrêtent. Nous croyons qu'on peut, dans tous les cas, les admettre sur les chemins d'importance secondaire, consacrés plutôt au transport des marchandises qu'à celui des voyageurs. Ils facilitent beaucoup les manœuvres.

On peut remplacer les deux voies par une voie unique placée intermédiairement aux voies principales (fig. 199). Mais il

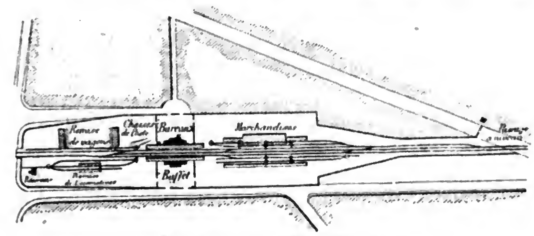


Fig. 199. *Gare de Château-Thierry.*

nous semble préférable de rejeter sur le côté, toutes les fois que cela peut se faire, les voies de garage des convois de marchandises ; la gare est moins obstruée et le chef de gare exerce son inspection beaucoup plus facilement. Si, malgré cela, on établit encore une troisième voie intermédiaire, elle devient alors voie de dégagement des machines, et elle sert, dans le cas particulier des convois spéciaux, au garage des trains de voyageurs.

A côté des voies de garage pour les trains de marchandises, il est nécessaire de poser une voie de dégagement pour les wagons vides. Il est essentiel aussi de ne pas négliger, dans les stations intermédiaires du premier ordre, de poser une voie spéciale pour l'alimentation des locomotives, et des voies spéciales pour le garage des wagons de voyageurs communiquant avec la remise.

Les voies d'arrivée et de départ étant établies entre les trottoirs, le bâtiment des salles d'attente pour le départ est ordinairement placé du côté de la ville que dessert la station, et les voyageurs qui arrivent sont obligés de traverser les deux voies pour se rendre en ville. Au chemin de Bristol, pour éviter aux voyageurs la traversée des voies, qui cependant paraît être sans danger, on a imaginé, pour certaines stations, celle de Windsor, par exemple, une disposition assez curieuse que nous allons décrire.

Du côté de la ville, on a établi deux trottoirs T et T' (fig. 200), et, à côté de chacun de ces trottoirs, un bâtiment contenant un

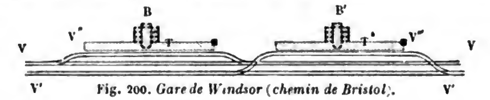


Fig. 200. *Gare de Windsor (chemin de Bristol).*

bureau pour la distribution des billets, des salles d'attente et accessoires.

Le bâtiment B et le trottoir T servent aux voyageurs qui se rendent par la voie V de Windsor à Bristol ou à l'une des stations placées entre Windsor et Bristol. Le convoi venant de Londres passe sur la voie de garage V'' pour les recueillir, et reprend ensuite la voie V. Le bâtiment B' et le trottoir T' servent pour les voyageurs circulant en sens contraire sur la voie V' de Windsor vers Londres. Le convoi venant de Bristol passe alors sur la voie de garage V''', et, après avoir stationné devant le trottoir T', reprend la voie V'.

Cette disposition nous semble tout à fait vicieuse. Elle exige non-seulement double bâtiment pour les bureaux de distribution des billets, bureaux de bagages, salles d'attente, etc., mais encore double trottoir et accroissement du personnel pour le service de la station.

Une partie des changements de voie tournent leurs pointes du côté du mouvement et les machines traversent les voies, ce qui peut occasionner des accidents tout aussi bien que si la traversée était effectuée par les voyageurs.

Sur le chemin de Versailles, rive droite, plusieurs voyageurs ayant été tués en cherchant à traverser les voies, on a construit de petits ponts au moyen desquels on peut passer d'un trottoir à l'autre par-dessus le chemin. Sur quelques chemins anglais, on a établi des ponts semblables en les couvrant et les fermant sur les côtés.

Ces ponts peuvent être utiles sur des chemins, comme le chemin de Versailles, où les convois passent en très-grand nombre et inopinément. Leur usage sur de grandes lignes paraît assez coûteux et gênant pour le service. Sur les chemins du réseau de l'Est, il n'est arrivé jusqu'à présent aucun accident qui en fasse sentir la nécessité.

Sur le chemin d'Auteuil, on a adopté, dans le même but, une disposition fort ingénieuse que nous devons décrire. Ce chemin se trouvant presque entièrement en tranchée, le bâtiment des salles d'attente, comme le représentent les fig. 201 et 202,

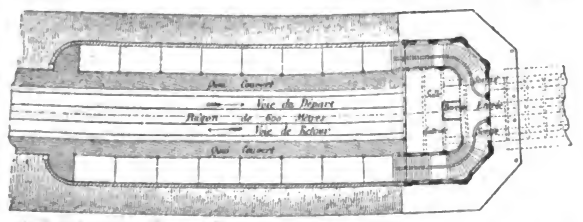


Fig. 201. *Plan de la station et du bâtiment.*

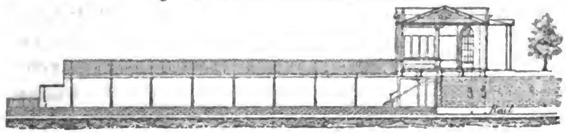


Fig. 202. *Coupe.*

est placé au-dessus des voies à une hauteur telle, que les locomotives peuvent passer dessous. On accède aux salles d'attente de plain-pied et l'on descend pour le départ sur les trottoirs par des escaliers qui, partagés en deux parties égales

par une main courante, servent également aux voyageurs arrivant.

Sur certains chemins d'Allemagne (fig. 203) l'un des trot-

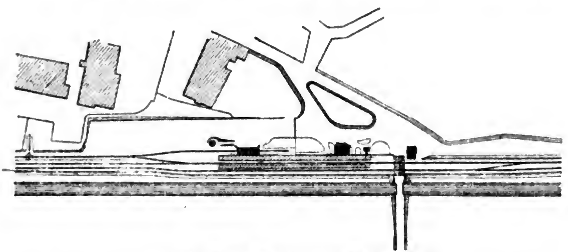


Fig. 203. *Station avec trottoir entre les voies.*

toirs a été placé entre les deux voies.

Les voyageurs partant du trottoir n'ont alors qu'une seule voie à traverser, et comme ce n'est pas sur celle-ci que passent les convois qui doivent les recevoir, ils ne courent pas le risque de les rencontrer en traversant la gare. Mais ce léger avantage est compensé par de graves inconvénients. On ne peut donner au trottoir des dimensions suffisantes en largeur pour le service des stations du premier ordre, sans écarter les voies outre mesure : cette disposition se prête mal à l'établissement d'un abri pour préserver les voyageurs de la pluie au moment où ils entrent dans les voitures et oblige à courber les voies aux abords de la station, ce qui force à diminuer la vitesse des trains directs. Enfin elle n'est pas sans danger quand deux trains se croisent dans la station même. Au chemin de Nancy à Sarrebruck, sur lequel on l'avait d'abord adoptée, la Compagnie y a reconnu pendant l'exploitation des inconvénients tels qu'elle n'a pas hésité à faire une dépense assez considérable pour revenir à la disposition ordinaire.

Il faut éviter soigneusement de placer dans les gares des bâtiments qui pourraient en masquer l'entrée au mécanicien.

Les signaux doivent être établis à une distance d'au moins 800 mètres.

Le bâtiment des salles d'attente doit toujours contenir, outre les salles d'attente, un vestibule, un bureau pour la distribution des billets, une salle pour le dépôt des bagages ou des marchandises expédiées à grande vitesse ;

Un magasin pour les bagages ou marchandises adressés bureau restant ;

Un bureau pour le chef de la station ;

Un bureau pour le sous-chef ;

Un cabinet pour le commissaire de surveillance ;

Un logement pour le chef de la station, et même, s'il est possible, pour le sous-chef.

Des lieux d'aisance et des urinoirs pour les voyageurs doivent être établis dans un petit bâtiment séparé et dans l'intérieur même du bâtiment.

La lampisterie, un cabinet pour la préparation des chaufferettes et le bureau des employés de la Voie sont placés tantôt dans le bâtiment des salles d'attente, tantôt dans un bâtiment séparé. On y joint quelquefois une salle pour les facteurs.

Le logement du chef de la station, placé ordinairement au premier étage, doit se composer de quatre pièces au moins, d'une cuisine et d'une cave. Il doit toujours renfermer des lieux d'aisance spéciaux.

Les portes par lesquelles on entre dans les salles d'attente doivent être disposées de manière qu'un seul homme suffise pour contrôler tous les billets.

Il faut avoir soin de ne ménager qu'une seule issue pour la sortie des voyageurs. Cette sortie se fait très-convenablement par un couloir traversant le bâtiment, comme au chemin de Thionville, et conduisant au vestibule où les bagages sont distribués aux voyageurs, ou par un couloir établi à l'extrémité du bâtiment, comme au chemin de Lyon. Quand le mouvement est très-actif, cette dernière disposition est préférable à la première. On évite ainsi la confusion des voyageurs partant et des voyageurs arrivant.

Dans certaines stations, le télégraphe étant manœuvré par un agent du gouvernement et mis à la disposition du public, il convient que l'on puisse accéder du dehors au cabinet de cet agent.

L'appareil pour la manœuvre du télégraphe électrique est souvent placé dans le bureau du chef de la station ; quelquefois il se trouve dans un cabinet voisin.

Comme il est utile que cet employé ne soit pas dérangé quand il manœuvre le télégraphe, nous conseillons de réserver pour cet appareil dans toutes les stations de quelque importance un cabinet séparé.

Au chemin de fer de Lyon et sur le chemin de Strasbourg, de Vitry à Strasbourg, le trottoir contigu au bâtiment des salles d'attente n'est couvert que sur une partie de sa largeur par une marquise ; le second trottoir ne l'est pas du tout, mais on a construit à la partie postérieure un bâtiment fermé où les voyageurs peuvent s'abriter.

Au chemin de Metz à Thionville, dans les stations de premier ordre, les deux trottoirs sont entièrement couverts par des marquises supportées par des colonnes et s'étendant jusqu'au-dessus des voitures.

Au chemin d'Orléans, on a déjà placé des marquises de ce genre dans plusieurs stations, et l'on se propose d'en construire dans toutes celles qui ont quelque importance. On a projeté pour la station d'Étampes des marquises de 120 mètres de longueur.

Cette disposition, généralement usitée en Angleterre, sera aussi très-probablement adoptée pour les stations à construire sur le chemin de Strasbourg, entre Paris et Vitry, et pour une partie de celles du chemin de Paris à Mulhouse.

Cette seconde disposition (l'emploi des marquises) nous semble bien préférable à celle qu'ont adoptée les ingénieurs du chemin de fer de Lyon.

Les voyageurs sont ainsi abrités jusqu'au moment où ils se trouvent placés dans les voitures et immédiatement au moment

où ils en sortent, toutes les fois que le convoi est arrêté devant la marquise.

Dans le cas des bâtiments servant d'abri, les voyageurs sont obligés de traverser, exposés à la pluie, une partie plus ou moins large du trottoir.

Les marquises sont moins coûteuses[1] d'établissement que les bâtiments servant d'abri et, placées symétriquement sur les deux trottoirs, elles sont d'un aspect bien plus satisfaisant.

On a objecté au système des marquises qu'on ne pouvait, sans des dépenses excessives, leur donner assez de longueur pour que toutes les voitures de certains convois pussent s'arrêter vis-à-vis.

La critique est fondée; mais les voitures de 1re et de 2e classe étant ordinairement placées au centre du convoi, les seuls voyageurs de 3e classe pourraient occasionnellement être forcés de monter dans les voitures ou d'en descendre sur une portion du trottoir qui ne serait pas abritée, et le trajet qu'ils auraient à faire de la partie abritée à la voiture ou de la voiture à la partie abritée ne serait que fort court.

On a encore objecté que les voyageurs seraient imparfaitement abrités lorsque la pluie serait chassée obliquement par le vent. L'observation serait juste si les voyageurs se tenaient sur le devant de la marquise ou si elle était trop élevée; mais comme on ne lui donne que la hauteur nécessaire, les voyageurs se retirant à la partie postérieure sont toujours suffisamment préservés. Ce cas d'ailleurs se présentera rarement.

On a dit enfin que la marquise, pour couvrir entièrement un trottoir d'une certaine longueur, devait être supportée par des colonnes qui gêneraient dans le service. C'est à tort que l'on a supposé que ces colonnes peuvent devenir une cause d'embarras pour les voyageurs. Lorsqu'on a soin de les placer à 1 mètre ou 1m,50 des bords du trottoir, comme sur les chemins anglais et au chemin d'Orléans, et de les écarter, autant que possible, les unes des autres, le service n'en souffre aucunement.

1. Voir aux documents une note sur le prix d'établissement des marquises.

Les ingénieurs du contrôle, qui s'opposent généralement à ce qu'on permette aux voyageurs de sortir des salles d'attente avant le passage du convoi lorsque le trottoir n'est pas couvert et que les voyageurs n'y sont pas renfermés dans un espace limité, tolèrent, au chemin du Nord, à Enghien, l'admission des voyageurs sous une marquise entre des barrières éloignées de 2 mètres environ des bords du trottoir. On a pu de cette manière, bien que la station d'Enghien soit, en été, très-fréquentée, se contenter de salles d'attente fort petites (54^{m},30 carrés).

Au chemin de Strasbourg, les chefs de station ont déclaré que, partout où il existe des bâtiments-abris, les voyageurs n'en font que très-rarement usage, en sorte qu'on est conduit à en changer la destination et à les convertir en magasins.

Il convient aussi d'établir des marquises du côté des cours, afin que le chargement des voitures et des omnibus puisse se faire à couvert.

Il faut, dans tous les cas, couvrir la portion du trottoir devant laquelle se trouvent ordinairement arrêtés les wagons à bagages

Dans les stations comme celle d'Épernay, au chemin de Strasbourg, et celle de Creil, au chemin du Nord, où plusieurs trains se croisent ou stationnent un certain temps et où l'on traverse souvent les voies, il convient de couvrir non-seulement les trottoirs, mais encore les voies intermédiaires.

On trouve dans certaines stations principales des buffets ou restaurants.

Sur les grandes lignes les convois s'arrêtent toujours pendant quinze ou vingt minutes au moins dans ces stations.

Le bâtiment contenant le buffet doit être placé de préférence du côté de la ville, afin que l'on puisse y accéder facilement.

L'entrepreneur du buffet de Nancy a demandé avec instance que le buffet ne fût pas établi du côté opposé.

Composition des stations intermédiaires considérées dans leurs détails.

La figure 204 représente la composition du bâtiment des

salles d'attente d'une station de 1re classe du chemin de Strasbourg, celle de Château-Thierry.

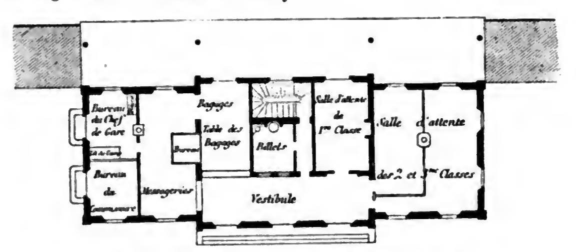


Fig. 204. *Bâtiment des voyageurs de Château-Thierry.*

Les fig. 205 et 206 représentent le plan du rez-de-chaussée

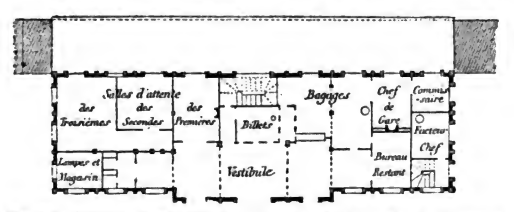


Fig. 205. *Station intermédiaire de 1re classe du chemin de Metz à Thionville.*

des stations de 1re et 3e classe du chemin de Metz à Thionville.

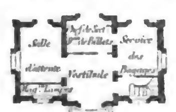


Fig. 206. *Station de 3e classe.*

La fig. 207, le plan du rez-de-chaussée de stations intermédiaires du chemin de fer de Chartres.

Sur ce chemin, la salle des lampistes est placée sur le trottoir opposé au trottoir des salles d'attente, dans un petit bâtiment qui renferme des urinoirs.

Les fig. 208, 209 et 210 représentent les types des stations intermédiaires des chemins du Nord (lignes en construction) et des chemins du Midi.

Enfin les fig. 211 et 212 représentent les types des stations

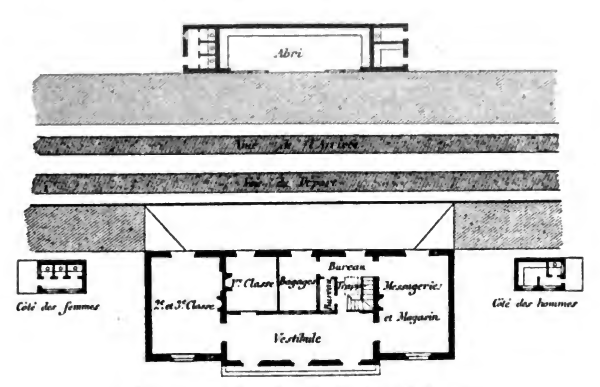


Fig. 207. *Station intermédiaire du chemin de Chartres.*

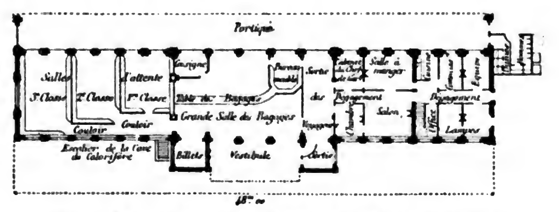


Fig. 208. *Station intermédiaire de première classe du chemin du Nord.*

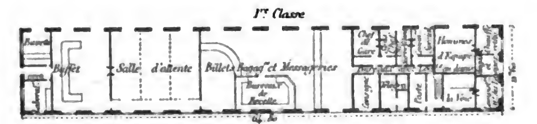


Fig. 209. *Station intermédiaire du chemin du Midi.*

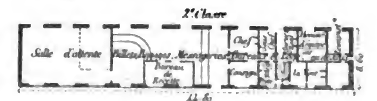


Fig. 210. *Station intermédiaire du chemin du Midi*

de 1re et de 2e classe du chemin de Paris à Mulhouse, étudiées après l'expérience faite des stations des grandes lignes précédemment construites.

LÉGENDE :

A Vestibule.
B Bureau restant.
C Télégraphe.
D Magasin.
E Sous-chef de gare.
F Commissaire de surveillance.
G Chef de gare.
H Bagages.
I Billets.
K Passages.
L, M, N Salles d'attente { 1re classe. 2e classe. 3e classe.
O Bureau de la voie.
P Dépôt.
Q Cabinets.
R Sortie couverte des voyageurs.

Le bureau de la Voie peut au besoin être transporté dans un bâtiment séparé et le local qu'il occupait dans le bâtiment des salles d'attente être affecté aux facteurs et hommes d'équipe. La lampisterie et le local pour les chaufferettes sont placés dans le bâtiment des latrines.

Fig. 211. Station de 1re classe du chemin de Mulhouse.



La disposition des nouvelles stations de l'Est a beaucoup

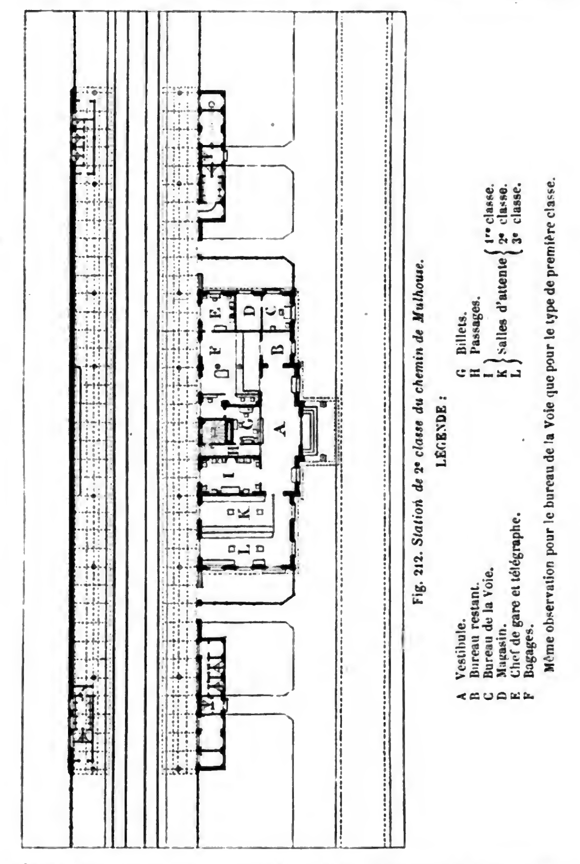


Fig. 212. *Station de 2e classe du chemin de Mulhouse.*

LÉGENDE :

A Vestibule.
B Bureau restant.
C Bureau de la Voie.
D Magasin.
E Chef de gare et télégraphe.
F Bagages.
G Billets.
H Passages.
I } Salles d'attente { 1re classe.
K } { 2e classe.
L } { 3e classe.

Même observation pour le bureau de la Voie que pour le type de première classe.

d'analogie, ainsi qu'on peut le voir à l'inspection des plans, avec celle des anciennes. On a justement changé l'emplacement

des salles d'attente qui, se trouvant à gauche du bureau des billets, ne permettaient pas d'établir une communication facile entre le bureau des billets et la salle des bagages.

Le bureau du chef de gare a été placé de manière que l'on puisse y accéder aisément du dehors, soit directement, soit en traversant seulement le bureau du sous-chef. La lampisterie a été transportée dans le bâtiment des latrines et remplacé par un bureau de la Voie.

Quand ces nouvelles stations ont quelque importance, on a ménagé à l'extrémité du bâtiment un couloir pour la sortie, et on a couvert les deux trottoirs jusqu'au-dessus des voitures.

A Épernay, le buffet devait être placé dans le même bâtiment que les salles d'attente. On n'a pu remplir cette condition qu'en ajoutant deux bâtiments en retour d'équerre sur le bâtiment principal, comme l'indique le plan de la station (fig. 213). D'après les projets rédigés par l'architecte de la Compagnie, les bâtiments A, B, D et E ne comportent qu'un rez-de-chaussée. Le bâtiment central C admet un entresol et un premier étage. On remarque que le buffet proprement dit, la buvette, la cuisine et l'office se trouvent dans le bâtiment B, et que le bâtiment en retour A ne renferme qu'une grande salle pour la table d'hôte. Le vestibule de départ, le bureau des billets, etc., sont placés dans le bâtiment central C. Le fermier du buffet et le chef de gare sont logés dans le même bâtiment. Les salles d'attente, un couloir de sortie, un vestibule d'arrivée, etc., occupent les bâtiments D et E.

La construction de cet édifice, y compris la couverture des voies, ne devant pas coûter moins de 590 000 francs, il est probable que le conseil d'administration des chemins de l'Est ne l'exécutera pas dans son entier. Nous avons cru devoir toutefois reproduire les dispositions projetées comme étant parfaitement satisfaisantes, au point de vue du service.

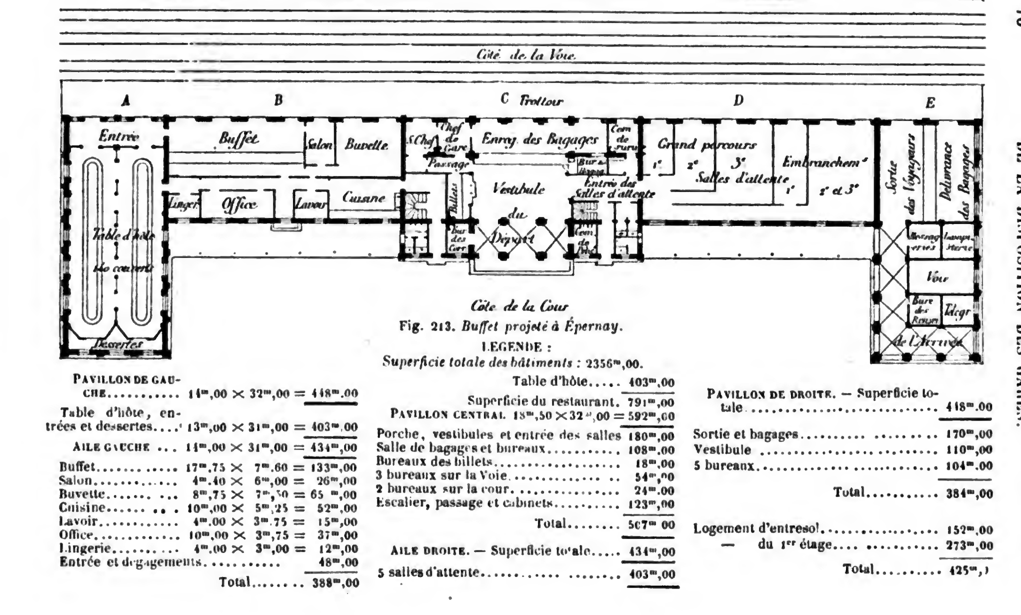


Fig. 213. *Buffet projeté à Épernay.*

LÉGENDE :

Superficie totale des bâtiments : 2356^{m},00.

PAVILLON DE GAUCHE........... 14^{m},00 × 32^{m},00 =	448^{m},00
Table d'hôte, entrées et dessertes.... 13^{m},00 × 31^{m},00 =	403^{m},00
AILE GAUCHE ... 14^{m},00 × 31^{m},00 =	434^{m},00
Buffet............ 17^{m},75 × 7^{m},60 =	133^{m},00
Salon............ 4^{m},40 × 6^{m},00 =	26^{m},00
Buvette......... 8^{m},75 × 7^{m},50 =	65^{m},00
Cuisine......... 10^{m},00 × 5^{m},25 =	52^{m},00
Lavoir.......... 4^{m},00 × 3^{m},75 =	15^{m},00
Office.......... 10^{m},00 × 3^{m},75 =	37^{m},00
Lingerie........ 4^{m},00 × 3^{m},00 =	12^{m},00
Entrée et dégagements...........	48^{m},00
Total........	388^{m},00

Table d'hôte.....	403^{m},00
Superficie du restaurant.	791^{m},00
PAVILLON CENTRAL 18^{m},50 × 32^{m},00 =	592^{m},00
Porche, vestibules et entrée des salles	180^{m},00
Salle de bagages et bureaux...........	108^{m},00
Bureaux des billets....................	18^{m},00
3 bureaux sur la Voie..................	54^{m},00
2 bureaux sur la cour..................	24^{m},00
Escalier, passage et cabinets..........	123^{m},00
Total........	507^{m},00
AILE DROITE. — Superficie totale.....	434^{m},00
5 salles d'attente....................	403^{m},00

PAVILLON DE DROITE. — Superficie totale..............................	418^{m},00
Sortie et bagages..........................	170^{m},00
Vestibule..................................	110^{m},00
5 bureaux..................................	104^{m},00
Total...........	384^{m},00
Logement d'entresol........................	152^{m},00
— du 1er étage..............	273^{m},00
Total..........	425^{m},»

Les stations hors classe ont une grande analogie avec les stations extrêmes. Elles sont composées à peu près de la même manière.

Les stations de Nancy et de Metz (fig. 214 et 215) sont de bons modèles de stations de ce genre.

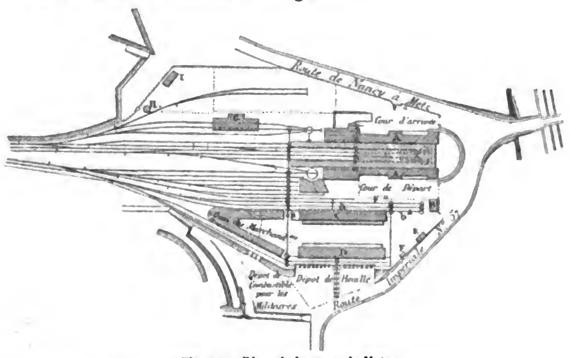


Fig. 214. *Plan de la gare de Metz.*

AA' Bâtiment des voyageurs.
B Bureau de la douane.
C Halle à marchandises (départ).
D *Id.* (arrivée).
E Bureau des expéditions.
FF'F'' Latrines.
G Remise de machines.
H Reservoir.
I Magasin de la Voie.
a Bascule.
b Grue Arnoux.

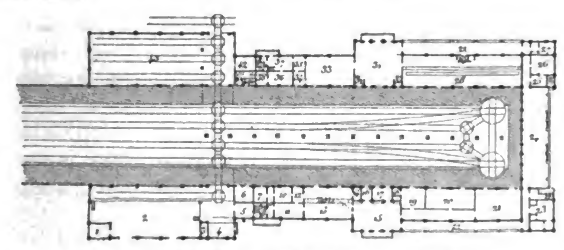


Fig. 215. *Gare de Metz. — Plan du bâtiment des voyageurs.*

1. Hommes d'équipe.
2. Quais des messageries.
3. Bureau des messageries.
4. Vestibule des messageries.
5. Bureau restant.
6. Surveillants et gardes-freins.
7. Télégraphe électrique.
8. Escalier du 1er étage.
9. Corridor
10. Chef de gare.
11. Bureau des réclamations.
12. Sous-chef de gare.
13. Salle d'enregistrement des bagages.
14. Bureau *id.*

15. Vestibule d'entrée.
16. Corridor de service de la gare.
17. Distribution des billets.
18. Petit salon et latrines.
19, 20, 21. Salles d'attente.... 1re classe. 2e classe. 3e classe.
22. Trottoirs couverts.
23. Logement du concierge.
24. Salle des pas perdus.
25. Cabinet du chef de section
26. Bureau de la Voie.
27. Commissaire de surveillance.
28. Salle de distribution des bagages.
29. Bureau de l'octroi.
30. Bureau sans destination.
31. Vestibule de sortie.
32. Bureau de la poste.
33. Buffet.
34. Petit salon.
35. Office.
36. Buvette.
37. Cuisine.
38. Magasin de l'exploitation.
39. Escalier du 1er étage.
40. Cabinets pour les dames.
41. Cabinets et urinoirs pour les hommes.
42. Lampisterie.
43. Remise des voitures.

Le corps de bâtiment des douanes doit contenir, outre les salles de visite, deux cabinets pour les visites de corps, un bureau pour les employés, un bureau pour leur chef, un corps de garde pour les préposés, un logement pour le receveur, et, quand on le peut, un logement pour le brigadier.

Quand le chemin est en déblais, le bâtiment contenant les bureaux de distribution des billets, les salles d'attente et leurs dépendances, est placé arbitrairement sur le côté, au sommet du talus, sur le talus même, au pied du talus ou enfin entre les deux talus à une certaine hauteur, comme au chemin d'Auteuil.

Si le chemin est en remblais, on peut le placer également au pied du remblai, sur le talus ou sur la crête du remblai.

Enfin, si le chemin est en viaduc, on peut l'établir sous les voies, comme au chemin de Montpellier à Nîmes, ou à côté du viaduc.

En général, lorsque la station est de quelque importance et que le bâtiment n'est pas établi au-dessus des voies, comme sur le chemin d'Auteuil, il faut le placer au pied des talus, dans les tranchées ou sur la crête des remblais, en ménageant des rampes pour y parvenir en voiture.

A Coventry, on a abandonné les bâtiments placés au sommet des talus pour les remplacer par d'autres construits à une petite distance du fond de la tranchée.

En Angleterre et en France, les voies, sur une grande partie de la longueur des stations intermédiaires, sont toujours bordées de trottoirs.

Les omnibus et autres voitures qui amènent ou emmènent les voyageurs stationnent dans les cours latérales.

On a adopté, autant que possible, des dispositions telles,

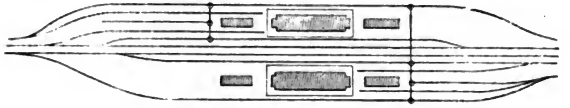


Fig. 216. *Gare de Swindon.*

que les voyageurs puissent descendre de voiture ou y monter à couvert. Quand la station intermédiaire se trouve au point de croisement ou de réunion de plusieurs chemins de fer, comme celles de Normanton et de Swindon (fig. 216) et celle de Frouard (chemin de Strasbourg), les bâtiments pour les bureaux de distribution des billets et les salles d'attente ou au moins un grand trottoir se trouvent quelquefois compris entre deux systèmes de voies.

Le trottoir longeant le bâtiment des voyageurs et celui compris entre les deux voies principales sont spécialement affectés aux voyageurs, quels que soient le point d'où ils viennent et celui où ils se rendent. Les voies juxtaposées sont des voies de garage pour le cas où un train aurait besoin de devancer ceux qui le précèdent.

La fig. 217 représente la disposition de la gare de Frouard, où se rencontrent les trains marchant de Paris sur Strasbourg et Forbach ou *vice versa*, et ceux de Nancy à Forbach ou de

Fig. 217. *Gare de Frouard.*

A Bâtiment des voyageurs.
B Remises pour 4 machines.
C Petit atelier ou logements.
D Buffets.
E Remise de wagons.
F Réservoir.
G Halle des marchandises.
H Corps de garde des hommes d'équipe.

Forbach à Nancy et Paris. Dans cette gare un trottoir seulement a été placé au milieu des voies. Le bâtiment des salles d'attente a été placé sur le côté.

Les stations intermédiaires de 1re classe contiennent toujours, outre le bâtiment des salles d'attente, avec ses dépendances :

Un réservoir d'eau et des grues hydrauliques ;

Une remise pour deux locomotives au moins ;

Une remise de wagons ;

Des urinoirs.

Souvent :

Un embarcadère pour les chevaux et voitures ;

Un embarcadère pour les marchandises ;

Un embarcadère pour les charbons ;

Des magasins et hangars divers pour le service des marchandises et des charbons.

Quelquefois :

Des ateliers de réparation plus ou moins vastes.

Ce n'est pas seulement près du bâtiment des salles d'attente ou dans ce bâtiment même qu'il convient d'établir des lieux d'aisance et des urinoirs ; on en place également sur le trottoir opposé. Cela est absolument nécessaire dans toutes les stations où les convois s'arrêtent assez longtemps pour permettre aux voyageurs de descendre des voitures.

Dans les petites stations où les trains ne stationnent qu'une ou deux minutes, il suffit d'établir des cabinets près du bâtiment pour les voyageurs qui arrivent ou qui attendent le train.

Il faut encore des urinoirs dans les cours extérieures des stations de 1re et de 2e classe.

Les chevaux et les chaises de poste sont chargés sur des voies latérales communiquant avec les voies principales par des changements de voie et par des plaques tournantes.

Il en est de même des marchandises ; les hangars sont placés latéralement, soit parallèlement aux voies, soit perpendiculairement. Dans les gares intermédiaires, où le personnel est

peu nombreux et où le chargement des wagons est moins varié que dans les gares extrêmes, il faut toujours les placer parallèlement.

Dans les stations où le trafic du charbon de terre doit avoir quelque importance, il faut établir des estacades pour le déchargement des wagons à trappes, ou des quais élevés pour transborder facilement le charbon des wagons à bords tombants dans d'autres wagons ou dans des tombereaux stationnant le long du quai.

Le service des houilles se place assez ordinairement à l'extrémité des hangars de marchandises, opposée à la station des voyageurs et sur le prolongement même des voies de marchandises ; mais il est indispensable alors d'isoler ces deux services au moyen de changements de voie et de leur ménager des issues séparées.

Quand le transbordement des houilles se fait sur un quai séparé, il y a nécessité de donner aux voies un très-grand développement.

Des cours spéciales fermées, plus ou moins vastes, doivent être réservées en avant des halles ou des trottoirs découverts pour le service des marchandises, et même en avant des trottoirs pour le service des chaises de poste.

Nous avons indiqué que l'on trouve dans certaines stations principales des buffets et restaurants.

Ces buffets sont diversement espacés. Au chemin du Nord, on en trouve à Creil, Amiens, Douai, Arras, Valenciennes, Lille, etc. Au chemin de Strasbourg, il en a été établi à Meaux, Château-Thierry, Bar-le-Duc, Nancy, Metz, Sarrebourg et Strasbourg.

Les salons ou salles à manger des restaurateurs dans les stations de Wolverton et de Swindon, sur les chemins anglais de Londres à Birmingham et de Londres à Bristol, servent en même temps de salles d'attente. Ils sont très-grands et richement décorés. Ceux de la station de Swindon, placés le long de chaque trottoir, sont immenses et construits avec un luxe admirable.

A Swindon, le buffet, établi au milieu, partage le salon en deux compartiments, dont l'un est destiné à recevoir les voyageurs de 1re classe, et l'autre ceux de 2e et de 3e classe. A Wolverton, il y a deux salons distincts, l'un pour la 1re classe et l'autre pour les classes inférieures.

Au chemin de Strasbourg, il y a des buffets de deux ordres qui ne diffèrent entre eux que par leur étendue. Leur distribution est exactement la même quant aux pièces affectées au service des voyageurs. Les dimensions de celles du second type sont seulement un peu plus petites que celles du premier.

Certaines stations de 2e classe renferment aussi, comme celles de 1re classe, un réservoir d'eau et des grues hydrauliques, une remise pour locomotives, une remise de wagons, un embarcadère pour les chevaux et les voitures, un embarcadère couvert pour les marchandises d'une certaine valeur, et des trottoirs découverts pour le chargement et le déchargement des charbons, des pierres et des autres marchandises analogues ; il est rare cependant que l'on trouve des remises de locomotives et de wagons dans les stations de 2e classe, on y rencontre plus souvent des embarcadères pour les marchandises.

Dans les stations voisines des frontières, il est nécessaire de consacrer une partie des bâtiments au service des douanes. Les salles de douane doivent se trouver généralement du côté de la voie qui mène à la frontière, puisque c'est toujours à la sortie que la visite a lieu. Ces salles sont divisées en deux compartiments : l'un pour la visite des voyageurs de 1re et de 2e classe, l'autre pour celle des voyageurs de 3e classe.

Dimensions des stations intermédiaires.

Sur la plupart de nos chemins de fer, les stations, non-seulement sont mal disposées, mais encore elles sont trop petites ou trop grandes. Il était très-important de déterminer l'étendue à donner aux bâtiments des stations pour un mouvement connu. Pour nous en rendre compte, nous avons fait faire un relevé des

dimensions de toutes les stations des chemins de l'Est et du mouvement moyen journalier des voyageurs, des bagages et des marchandises, ainsi que du nombre maximum des voyageurs et de la quantité maxima des bagages et des marchandises se présentant dans un moment donné.

Il résulte de ce relevé, qu'aux chemins de l'Est les surfaces des bâtiments des stations construites aujourd'hui ont des grandeurs très-variables, et que cependant, en exceptant les stations que l'on peut placer hors classe, comme celles de Nancy, Metz, Frouard et Forbach, ces bâtiments peuvent se rapporter à six types.

Le plus grand couvre une superficie de terrain d'environ. . . . . 405 mètres carrés.

Le second.	de 260 à 275	—
Le troisième.	de 220 à 235	—
Le quatrième.	de 200 à 220	—
Le cinquième.	de 120 à 155	—
Le sixième.	de 85 à 105	—

Les bâtiments des stations des cinq premiers types se composent d'un corps de bâtiment central avec un rez-de-chaussée et un premier étage. C'est au rez-de-chaussée du corps de bâtiment central que sont placés le bureau des billets, le bureau des bagages, la salle d'attente de 1re classe et le vestibule. Le chef de la station loge au premier. Les salles d'attente de 2e et de 3e classe, le bureau de la messagerie, le cabinet du chef de station et les autres dépendances se trouvent dans les ailes.

Au premier type appartiennent les stations de Lunéville, Bar-le-Duc et Pont-à-Mousson.

Au second, celles de Toul, Vitry-le-François, Commercy, Sarrebourg et Lérouville.

Au troisième, celles d'Ars, Brumath, Hochfelden et Novéant.

Au quatrième, les stations de Revigny, Nançois-le-Petit, Sermaize, Héming, Avricourt, Varangeville et Saint-Avold.

Au cinquième, Emberménil, Rosières, Blainville, Marainvillers, Steinbourg, Dettwiller, Mommenheim, Vendenheim, Lutzelbourg, Faulquemont, Foug, etc.

Au sixième et dernier, Peltre, Courcelles, Remilly, Marbache, Hombourg et Cocheren.

La superficie totale des salles d'attente des trois classes du premier type est d'environ. . . . . . . 100 mètres carrés.

Du deuxième type.	80	—
Du troisième type.	60	—
Du quatrième type.	60	—
Du cinquième type.	40	—
Du sixième type.	25	—

Le premier type peut suffire à un mouvement journalier de 200 voyageurs et pour un nombre maximum de 450 voyageurs se présentant à la fois.

Ce mouvement moyen est celui de la station de Lunéville. Le nombre maximum est aussi celui qui a été fourni par le chef de cette station. 450 voyageurs répartis sur une surface de 100 mètres carrés seraient sans doute fort gênés; mais une pareille affluence ne se présentant que tout à fait exceptionnellement dans la belle saison, on peut faire sortir une partie des voyageurs, si ce n'est la totalité, sur le trottoir; c'est alors qu'il devient avantageux d'établir des marquises couvrant le trottoir dans toute sa largeur et sous lesquelles on peut abriter les voyageurs en les renfermant dans des barrières, si on le juge nécessaire.

Le second type admet un mouvement journalier de 100 voyageurs et un mouvement maximum en un moment donné de 300, comme à Toul.

Le troisième, un mouvement journalier moyen de 90 voyageurs et un mouvement maximum en un moment donné de 600 voyageurs, comme à la station d'Ars, mouvement pour lequel les salles d'attente étaient tout à fait insuffisantes.

Le plus grand mouvement moyen journalier et le mouvement

maximum en un moment donné pour le quatrième type ont eu lieu dans la station de Varangeville, où la circulation moyenne des voyageurs est de 45 par jour, et où l'on a compté jusqu'à 160 voyageurs à la fois.

Pour le cinquième type, le mouvement moyen journalier des voyageurs varie de 12 à 25 seulement; le mouvement maximum en un moment donné est, dans la plupart des stations, de 30 à 40 voyageurs. Dans celle de Dettwiller cependant, il a atteint 80, et dans celle de Vendenheim 106.

Dans les stations du dernier ordre, on ne compte pour le mouvement journalier que de 12 à 20 voyageurs, et le mouvement maximum en un moment donné n'a varié que de 12 à 57. — La salle d'attente, servant pour les trois classes dans les stations dont le bâtiment couvre une surface de 84 mètres carrés, paraît suffisante. La superficie est d'environ 25 mètres; mais le bureau du chef de station servant à la distribution des billets, et la salle des bagages et messagerie servant aussi de lampisterie, sont trop petits. En les agrandissant convenablement, on porte la superficie totale de 104 à 108 mètres environ.

Lorsqu'on calcule les dimensions des stations, il faut non-seulement avoir égard au mouvement que l'on suppose avoir lieu à l'époque de l'ouverture du chemin, mais encore tenir compte des accroissements de mouvement présumés, ou, mieux encore, il faut s'arranger de manière à pouvoir agrandir les salles d'attente en ajoutant une ou plusieurs travées au bâtiment.

Comme il est, en général, excessivement difficile de se rendre à l'avance un compte exact du mouvement d'une station, ce dernier parti est évidemment le meilleur à prendre pour les salles de bagages et pour les halles à marchandises aussi bien que pour les salles d'attente. Il n'y a que le corps de bâtiment central à deux étages que l'on ne puisse pas agrandir; aussi faut-il s'appliquer à lui donner d'emblée les dimensions convenables. La surface de ce corps de bâtiment central est :

Dans les bâtiments du	premier type, de. .	175 m².
—	deuxième type. . .	125
—	troisième type. . .	97
—	quatrième type. . .	105
—	cinquième type. . .	90 à 105

La surface couverte par le bâtiment central des 4ᵉ et 5ᵉ types est plus grande que celle couverte par le bâtiment du 3ᵉ type, parce que dans les deux derniers types les ailes ont été supprimées.

En parlant des dimensions à donner aux salles d'attente dans les stations extrêmes, nous avons déjà indiqué comment on doit calculer l'espace réservé aux voyageurs des différentes classes.

Le mouvement maximum des voyageurs en un moment donné est le principal élément du calcul des dimensions à donner aux salles d'attente, si l'on admet que les voyageurs resteront enfermés dans cette salle. Si, au contraire, on suppose qu'une partie peut trouver place sur le trottoir, la surface des salles doit être seulement suffisante pour renfermer le nombre de voyageurs que l'on suppose devoir y séjourner, celui, par exemple, qui formera le mouvement maximum en un moment donné en hiver. C'est en partant de cette dernière base qu'on s'est borné à donner aux salles d'attente de la station d'Enghien-Montmorency une surface de 54^{m},30 carrés.

Le mouvement maximum en un moment donné des voyageurs dans les stations intermédiaires dépend en même temps du nombre des voyageurs qui se présentent par un train et du nombre des trains qui passent à la même heure ou à une petite distance les uns des autres. Deux trains qui se croisent dans la station passent exactement à la même heure. C'est un cas assez commun. A la station d'Épernay, où le chemin de Reims vient se souder au chemin de Strasbourg, on est souvent obligé de réunir dans une même salle les voyageurs de trois trains.

De même que les voyageurs se placent sur le trottoir lorsque la salle d'attente est insuffisante pour les contenir, de

même une partie des bagages y est déposée sous une marquise ou sous un abri spécial. On doit donc, dans le calcul de la surface à donner aux salles de bagages, avoir égard à cette circonstance.

Ce n'est pas la quantité totale des bagages correspondant à un certain mouvement maximum qui doit être déposée et manutentionnée dans la salle, mais une partie seulement de cette quantité.

Le volume des articles de bagages et de messagerie exerce sans doute plus d'influence encore que le poids sur l'espace qui doit être consacré au service. Les articles messagerie sont généralement moins volumineux que les articles bagages. On peut admettre que le volume des premiers pour un même poids est à peu près moitié du volume des seconds.

Pour nous rendre compte, au moins approximativement, de l'espace nécessaire pour déposer et manutentionner une certaine quantité de bagages et de messagerie, nous avons fait accumuler sur un mètre carré la plus grande quantité de bagages de diverses natures que l'on est dans l'habitude d'y loger, lorsque l'exiguïté de la salle ne force pas à se gêner, et, sur l'avis qui nous a été donné par les chefs de station les plus expérimentés, nous avons doublé cet espace pour déterminer celui qui est nécessaire à la manutention de ces bagages.

De cette manière, nous avons trouvé que, pour déposer et manutentionner convenablement 1000 kilogrammes de bagages, il fallait un espace de 20 à 25 mètres carrés, ou, en d'autres termes, qu'on pouvait manutentionner 40 à 50 kilogrammes de bagages par mètre carré.

Dans des cas exceptionnels, on en manutentionnera certainement une plus grande quantité, mais alors le service se fait péniblement et chèrement.

Pour les articles messagerie, on réduira de moitié l'espace nécessaire au dépôt.

Ayant ainsi égard au mouvement maximum des bagages et de la messagerie, et supposant qu'une partie peut être déposée

sur le trottoir, on a réglé de la manière suivante, sur le chemin de Strasbourg, la surface des salles de bagages et messagerie.

Stations de Bar-le-Duc, de Lunéville et de Pont-à-Mousson (premier type)	63 à 75	mètres carrés.
Stations du deuxième type. . . .	50	—
— troisième type. . . .	25 à 30	—
— quatrième type. . .	20 à 25	—
— cinquième type. . .	16 à 25	—
— sixième type. . . .	16	—

Dans les stations des deux premiers types, la manutention des bagages et des articles messagerie se fait dans des compartiments séparés. La division de l'espace entre les diverses natures d'objets a lieu suivant le rapport des quantités transportées existant. Ainsi, lorsque, dans la station de Bar-le-Duc, les deux surfaces pour les bagages et la messagerie sont à peu près égales, la surface réservée à la messagerie à Pont-à-Mousson est moins du tiers de la première. C'est qu'à Pont-à-Mousson l'on charge très-peu d'articles messagerie et beaucoup de bagages, tandis qu'à Bar-le-Duc on charge à peu près quantités égales des uns et des autres.

Dans les stations des quatre derniers types, les bagages et les articles messagerie sont manutentionnés dans une seule et même salle, qui, dans les troisième, quatrième et cinquième types, sert aussi à la distribution des billets; le sixième type comprend encore la lampisterie.

Le bureau du chef de station, s'il contient l'appareil pour le télégraphe, n'a pas, dans les stations du premier et du deuxième type, moins de 25 à 26 mètres carrés de surface.

Dans les stations du troisième et du quatrième type, à l'exception d'Ars, toutefois, on n'a donné au bureau du chef de station que 12 mètres environ. A la station d'Ars, sa superficie est d'environ 20 mètres, mais il sert à la distribution des billets. Cette dimension est insuffisante; le bureau du chef de station doit, dans les stations du troisième et du quatrième type, avoir 16 mètres de surface.

Dans les stations du cinquième type, la surface du bureau du chef de station est aussi de 16 mètres ; il sert non-seulement pour le télégraphe, mais encore pour la distribution des billets.

Dans les stations du sixième type enfin, comme dans celles des types précédents, le bureau du chef de station a ou doit avoir 16 mètres de surface, parce qu'il sert aussi à la distribution des billets.

Les locaux spécialement affectés à la distribution des billets ont, dans les stations du premier type, 12 mètres carrés de surface; dans celles du deuxième type, ils ont 10 mètres carrés.

Dans celles du quatrième et du cinquième type, ces locaux n'ont que 5 mètres, mais il faut leur donner de 8 à 9 mètres.

Dans les stations du troisième type, Hochfelden, Brumath, etc., la distribution des billets se fait dans la salle des bagages, dont la surface est de 24 mètres carrés.

On ne comprend un local spécial pour le télégraphe que dans les stations où est placé un employé de l'État. Cet employé couchant dans le cabinet du télégraphe, il faut donner à ce cabinet les mêmes dimensions qu'à celui du chef de gare.

Le cabinet du commissaire de surveillance, dans les grandes stations, a également de 15 à 16 mètres carrés de surface.

La surface du vestibule, dans les stations du premier type,

est de.	50 à 55	mètres carrés.
Dans celles des deuxième, troisième et quatrième types.	25 à 28	—
Dans celles du cinquième type.	21 à 24	—
— sixième type. . .	10	—

La lampisterie, dans les grandes stations, a 16 mètres carrés ; dans les stations de deuxième, troisième et quatrième ordre, elle n'a que de 10 à 13 mètres et sert quelquefois de magasin. Dans les stations du dernier ordre, elle est réunie à la salle des bagages et de la messagerie, qui doit avoir 16 mètres de superficie au moins.

Le magasin, quand il en existe un, est à peu près de mêmes dimensions que la lampisterie.

La surface des bâtiments de latrines est, dans les grandes stations, comme Meaux, Château-Thierry, Lunéville, Bar-le-Duc, de 25 à 40 mètres par chaque pavillon.

Dans les stations de moindre importance, où le temps d'arrêt des trains est toujours fort court, elle n'est que de 20 à 25 mètres.

La surface des quais pour les voyageurs est, pour les deux côtés, de l'arrivée et du départ :

Dans les stations du premier type.	916 mètres.
— deuxième type.	886
— troisième type.	676
— quatrième type.	705
— cinquième type.	546
— sixième type.	740

Les quais ont en longueur 80 ou 100 mètres, et en largeur 3, 4 et 5 mètres.

Les buffets occupent une surface de 350 mètres pour le premier type et de 280 mètres pour le second.

A Épernay, où s'arrêtent le plus de trains, la surface occupée par le buffet sera de 800 mètres environ; la salle pour la table d'hôte aura seule près de 400 mètres carrés. Il est vrai qu'elle doit recevoir quelquefois jusqu'à 150 voyageurs.

Les stations du chemin de Strasbourg entre Paris et Vitry n'étant pas encore établies, les projets pour les nouvelles stations viennent d'être terminés. La station de Meaux, recevant à peu près le double de voyageurs que celle de Bar-le-Duc, on agrandira les salles d'attente et de bagages en allongeant les ailes, et on portera ainsi la surface du bâtiment de 405 mètres carrés à 470.

Pour la station de Bondy, on a adopté le deuxième type, celui de la station de Sarrebourg, en donnant deux fois plus de longueur au bâtiment central, ce qui a permis de consacrer un espace un peu plus grand au bureau des billets en allongeant chacune des ailes d'une travée.

Les types adoptés pour les nouveaux chemins de l'Est diffè-

rent peu, quant à la grandeur de l'ensemble et des parties, de ceux du chemin de Paris à Strasbourg.

Une étude approfondie des besoins du service a conduit à conserver généralement pour les types de même importance non-seulement la même surface pour l'ensemble du bâtiment, mais encore la même étendue pour le bâtiment central, pour les salles d'attente, les salles de bagages, les bureaux du chef de gare et de distribution des billets, etc. On n'a agrandi que le type n° 6, en donnant au bâtiment de 105 à 115 mètres de surface au lieu de 80 ou 85.

Nous n'avons pas fait mention des stations hors classe, parce que les dimensions de certaines parties de ces stations, telles que les salles d'attente et de bagages, sont très-variables, suivant leur importance. Nous croyons utile cependant de présenter le tableau suivant de leurs principales dimensions :

DISTRIBUTION.	NANCY.	METZ.	STRASBOURG.	FORBACH.
	m²	m²	m²	m²
Vestibules	228,00	93,00	155,00	93,00
Bureaux des billets	12,65	14,00	10,00	10,00
Salles d'attente	176,80	189.00	242,00	103,00
Bureau du chef de gare	23,16	16,00	24,00	11,00
id. du sous-chef de gare	5,93	22,20	12,85	11,00
id. du commissaire de surveillance.	10,65	16,00	39,55	13,00
id. » de police	»	»	»	14,00
id. du télégraphe	9,18	11,00	25,20	8,00
Salle des bagages arrivée	140,00	19,00	284,50	28,00
Salle des bagages départ	118,25	286,00	242,00	39,00
Salle de visite	51,00	40,00	»	107,00
Bureaux de la messagerie	23,50	417,00	»	
id. de la douane	9,60	82,00	120,00	125,00
Lampisterie	25,75	36,00	39,00	13,00
Latrines	42,00	60,00	95.00	67,00
Buffet et dépendances	174,00	159,00	210,00	95,00

Il était intéressant de comparer les dimensions de nos sta-

tions intermédiaires à celles des stations des autres lignes. Nous avons entre les mains des plans lithographiés représentant les types de stations de différentes classes pour les chemins du Nord [1] et du Midi [2]. Ils nous ont servi à établir cette comparaison pour ces deux chemins.

Le tableau suivant indique la surface des stations pour les chemins de l'Est, du Midi et du Nord.

STATIONS.	EST. — surface hors œuvre	MIDI. — Surface hors œuvre	NORD. Avec logement au rez-de-chaussée.	NORD. Déduction faite du logement au rez-de-chaussée.
	m²	m²	m²	m²
1re classe	405	750	840	744
2e id.	260 à 275	490	473	388
3e id.	200 à 220	180	340	260
4e id.	120 à 155	110	193	151
5e id.	85 à 105	84	102	74
6e id.	»	60	»	»

Les stations de 1re classe du Midi, ainsi que celles du Nord, paraissent assimilables aux stations que nous avons placées hors classe, telles que nos stations de Metz et de Nancy ; celles de 2e classe, à nos stations de 1re classe. Celles du Midi sont toutefois plus grandes.

Celles du Nord le seraient également si on n'en déduisait pas une partie du logement du chef de gare, placée au rez-de-chaussée, tandis qu'aux chemins de l'Est et du Midi ce logement se trouve tout entier au premier étage. Il est assez difficile

1. Les types du chemin du Nord sont ceux des stations à établir sur les nouvelles lignes qui ont été concédées à la Compagnie.

2. La compagnie du Midi divise ses stations intermédiaires en quatre classes seulement, eu égard à la grandeur des terrains occupés ou de l'importance du service en général. C'est en tenant compte de la surface du bâtiment des salles d'attente seulement que nous avons été conduit à admettre cinq classes.

d'établir un rapprochement entre les dimensions des stations des autres classes du chemin du Midi et celles des stations de l'Est. La Compagnie du Midi sera probablement obligée d'établir des stations de grandeur intermédiaire. Les dimensions des stations du Nord ont beaucoup plus d'analogie avec celles de nos stations. Ainsi les dimensions des stations de 3ᵉ et de 4ᵉ classe, toujours en déduisant le logement du chef de gare, équivalent à celles de nos stations de 2ᵉ et de 3ᵉ classe. La 5ᵉ classe est un peu plus petite que les plus petites stations du chemin de l'Est.

On trouve, pour les surfaces des vestibules :

STATIONS.	EST.	MIDI.	NORD.
	m^2	m^2	m^2
1ʳᵉ classe.	50	35	25
2ᵉ *id.*	35	22	25
3ᵉ *id.*	30	21	25
4ᵉ *id.*	28	15	22
5ᵉ *id.*	24,50	10	12
6ᵉ *id.*	»	»	»

Les vestibules des chemins de l'Est sont généralement plus grands que ceux des chemins du Midi. Nous les croyons de grandeurs convenables. Ceux du Midi et du Nord nous paraissent trop petits.

Les surfaces des salles d'attente sont les suivantes :

STATIONS.	EST.	MIDI.	NORD.
	m^2	m^2	m^2
1ʳᵉ classe.	100	105	150
2ᵉ *id.*	80	88	120
3ᵉ *id.*	60	60	89
4ᵉ *id.*	60	60	61
5ᵉ *id.*	40	29	32
6ᵉ *id.*	25		»

Rapprochant les stations de 1re, 2e, 3e et 4e classe de l'Est des stations de 2e, 3e, 4e et 5e du Nord, on ne remarque pas de différence trop sensible dans l'étendue des salles d'attente. Celles du Nord sont généralement un peu plus grandes. Les salles du Midi sont un peu plus grandes dans les stations de 1re et 2e classe. Elles sont de même grandeur dans les stations de 3e et 4e classe, et plus petites dans celles de 5e. Au chemin du Midi, les salles de bagages des stations de 1re, 2e et 3e classe sont plus grandes que celles du même ordre des chemins de l'Est; mais la différence n'est pas d'une grande importance, si l'on compare les stations de 1re, 2e et 3e classe de l'Est aux stations de 2e. 3e et 4e classe du Midi.

On trouve, pour les surfaces des salles de bagages :

STATIONS.	EST.	MIDI.	NORD.
	m² m²	m²	m²
1re classe.	63 à 75	135	160
2e *id.*	45 à 50	77	95
3e *id.*	25 à 35	66	60
4e *id.*	20 à 25	30	45
5e *id.*	16 à 25	15	30
6e *id.*	15	»	»

Les bureaux pour la distribution des billets présentent les dimensions suivantes :

STATIONS.	EST.	MIDI.	NORD.
	m² m²	m²	m²
1re classe.	8 à 14	»	12
2e *id.*	9,50 à 10	»	8
3e *id.*	»	»	»
4e *id.*	5 à 5,50	»	»
5e *id.*	4 à 5,50	»	»
6e *id.*	»	»	»

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, la distribution des billets, au chemin de l'Est, ne se fait dans un local séparé pour les sections de 3e et 4e classe que par exception.

Au chemin du Nord, dans les stations de 3e, 4e et 5e classe, la salle de bagages comprend toujours le bureau de distribution des billets.

Au chemin du Midi, les bureaux pour la distribution des billets aux voyageurs et pour l'enregistrement des bagages sont confondus. Il n'y a donc lieu de comparer que les bureaux pour les stations de 1re et de 2e classe de l'Est et du Nord. Ceux du Nord sont un peu plus petits que ceux de l'Est. Nous ne pensons cependant pas qu'il y ait lieu de réduire les dimensions des bureaux de l'Est. Ceux des stations de 4e et 5e classe de l'Est ont été reconnus trop petits.

Pour l'étendue des bureaux des chefs de station, on trouve :

STATIONS.	EST.	MIDI.	NORD.
	m^2 m^2	m^2	m^2
1re classe.	14 à 16	12	10
2e *id.*	14 à 16	10	10
3e *id.*	10 à 12	10	9
4e *id.*	7 à 12	6	7
5e *id.*	11 à 15	5	»
6e *id.*	11	»	»

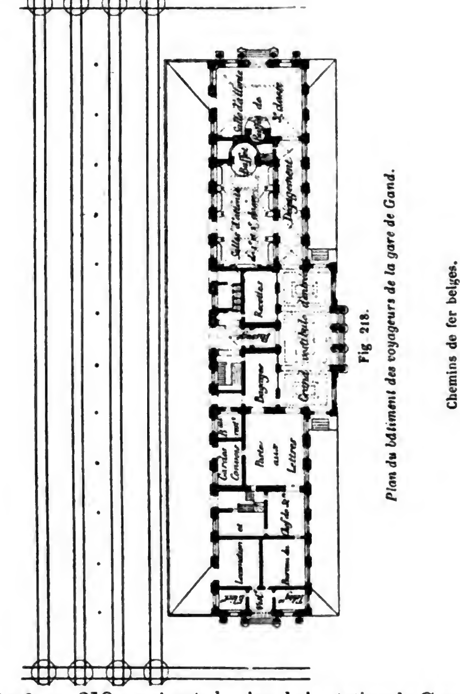
Les bureaux du Nord sont un peu plus petits que ceux de l'Est; mais l'appareil télégraphique se trouve généralement, sur ce chemin, dans un local séparé, tandis que, sur le chemin de l'Est, il est souvent placé dans le bureau du chef de station.

Les bureaux des stations de 5e et 6e classe, sur le chemin de l'Est, sont plus grands, parce qu'ils servent en même temps pour le dépôt des bagages et pour la distribution des billets.

Stations sur les chemins de fer étrangers.

Les voies dans les stations belges et allemandes sont généralement disposées de la même manière que dans les stations des chemins de fer français.

La composition du bâtiment des salles d'attente ainsi que la disposition des différentes pièces renfermées dans ce bâtiment offrent aussi une grande analogie avec celles des mêmes bâtiments sur les chemins de fer français.



Chemins de fer belges.

Fig. 218.

Plan du bâtiment des voyageurs de la gare de Gand.

La figure 218 représente le plan de la station de Gand, l'une

des plus importantes des chemins belges, la figure 219 celle de la station de Vilworde appartenant aux mêmes chemins,

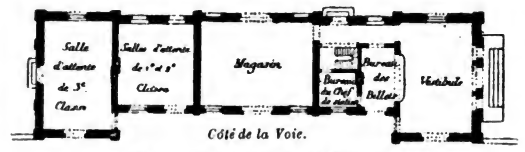


Fig. 219. *Plan de la station de Vilworde.*

la figure 220 une des stations du second ordre des chemins de

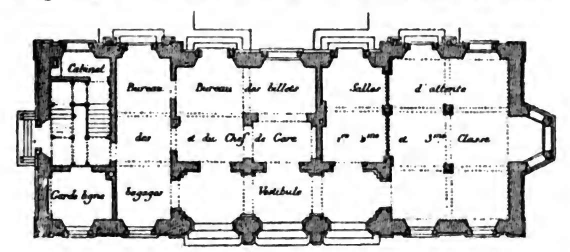


Fig. 220. *Plan d'une station badoise.*

fer badois. Le bâtiment de la station badoise est surmonté d'un étage dans toute son étendue. La fig. 221 enfin nous fait connaître la disposition projetée d'une station de 1re classe du chemin de fer central suisse celle de Herzogenbuchsee.

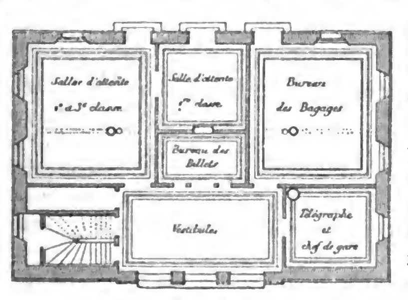
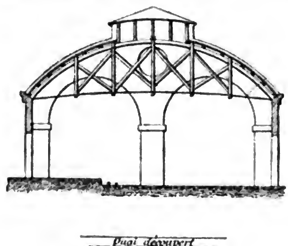


Fig. 221. *Plan d'une station suisse.*

Nous n'avons parlé que de la disposition des gares ou stations

de nos chemins de fer d'Europe. La note suivante sur les stations des chemins américains, note que nous devons à l'obligeance de M. Grenier, formera un utile appendice au chapitre précédent.

Les stations principales des voyageurs sont de grandes halles couvertes ; sur un des côtés on place les salles d'attente, les bureaux et les logements, qui se réduisent souvent à un très-petit nombre de pièces. Comme il n'y a qu'une seule classe de voyageurs, divisée en hommes et femmes, il suffit de deux pièces pour salles d'attente, d'une salle de bagages, d'un bureau de distribution de billets et d'un bureau pour le chef de gare ; ces pièces sont proportionnées à l'importance de la gare ; dans les têtes de lignes, elles sont souvent placées en tête de la gare, ce qui n'est pas commode pour les voyageurs. Au chemin nouvellement construit de Draton à Hamilton, la gare de Cincinnati, qui est tête de ligne, est une halle couverte de 24^{m},70 de portée. Les trains partent et arrivent sur une même voie. Il y a un seul trottoir de 7 mètres de largeur ; sur le milieu de la longueur du trottoir se trouvent les bureaux, disposés comme l'indique le plan ci-joint (fig. 222). La longueur de la halle est de 150 mètres, les fermes sont en bois ; elles se composent d'un cintre en arc de cercle de 0^{m},30 de hauteur sur 0^{m},21, formé de trois épaisseurs de planches.





A Bagages
B Salle d'attente, Hommes
C Bureau
D Salle d'attente, Dames
E Billets

Fig. 222. *Coupe de la gare de Cincinnati.*

Ces cintres sont reliés par un système de croix de Saint-André en fer et en bois. Les fermes sont écartées de 4^{m},80. Les côtés de la halle sont des arcades de 3^{m},40 d'ouverture avec trumeaux de 4 mètres.

A Philadelphie, la gare du chemin de Baltimore est une halle dont la couverture est composée de fermes de bois en arc de cercle (fig. 223) de 47^{m},75 de portée, écartées de 3^{m},66. Ces

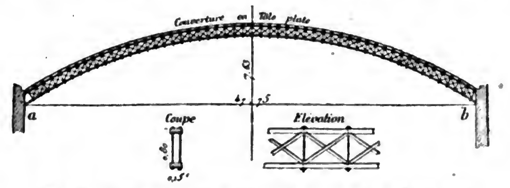


Fig. 223. *Comble de la gare de Philadelphie (chemin de Baltimore).*

fermes, de 0^{m},61 de hauteur, sont composées de deux tringles reliant, au moyen de boulons, deux arcs cintrés; les croisillons ont été taillés avec assez de précision pour donner aux deux longuerines qu'ils étaient destinés à relier la forme exacte du cintre voulu, au fur et à mesure qu'on les plaçait et que l'on serrait les boulons. Deux tringles *a b* en fer, de 0^{m},02 de diamètre, s'opposent à la poussée ; ces tringles sont soutenues dans leur longueur par cinq fils de fer de très-petit diamètre. Cette charpente, couverte en tôle plate, a coûté 18^{f},14 le mètre superficiel.

A Niagara, il y a une gare de voyageurs commune aux chemins de New-York et de Buffalo ; cette gare est disposée, comme l'indique la figure 224 en forme d'équerre ; les salles

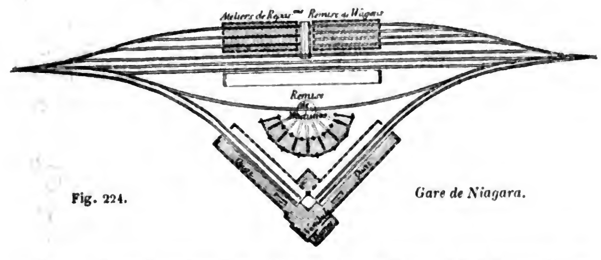


Fig. 224. *Gare de Niagara.*

d'attente sont communes aux deux chemins. Ce bâtiment est

en maçonnerie avec comble en bois couvert en tôle plate de 19 mètres de portée; l'écartement des travées est de 5 mètres.

Les petites stations de voyageurs ne sont pas couvertes; elles sont entièrement en bois et ont beaucoup de ressemblance avec les stations provisoires que l'on a faites sur la ligne de Strasbourg; au premier étage logent un ou deux employés. Dans les petites localités, les bâtiments ne contiennent qu'une seule salle d'attente commune (fig. 225), un vestibule, un bureau des billets et le logement du chef de station. Au *chemin de l'Illinois central*, ces bâtiments ont 16 mètres sur 8 mètres.

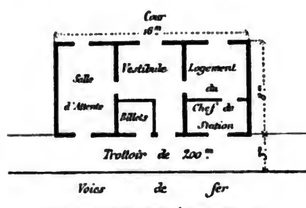


Fig. 225. *Bâtiment des voyageurs.*

Les buffets sont construits à part; ce sont de grandes tables d'hôte.

Les trottoirs des voyageurs de chaque côté des voies ont 200 mètres de longueur.

Les gares de marchandises sont composées de hangars dont les dimensions en longueur et largeur sont proportionnées à l'importance de la localité. Les voitures et les wagons sont abrités par des auvents dans le prolongement du toit.

Entre la voie principale et le hangar à marchandises, il y a une ou plusieurs voies, suivant les localités.

Les remises de locomotives sont ordinairement rectangulaires : sur quelques chemins, ce sont des remises en fer à cheval. On évite, autant que possible, de passer sur des plaques tournantes pour remiser.

A la gare de Baltimore, au chemin de Baltimore à Ohio, on a établi des remises de locomotives entre deux voies parallèles écartées de 22 mètres; elles sont placées sur deux voies qui forment avec ces deux parallèles des angles de 30° (fig. 226); sur chaque voie oblique, on remise une machine et l'on ajoute

successivement des remises au fur et à mesure des besoins. En outre, il existe deux voies de rebroussement *a b* et *b c*, au moyen desquelles on peut, comme on le voit, retourner les

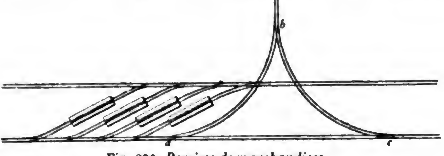


Fig. 226. *Remises de marchandises.*

machines bout pour bout sans employer de plaques tournantes.

Les plaques tournantes ont 13^{m},70 de diamètre; elles sont composées de deux longuerines en bois réunies entre elles par des traverses supportées au milieu par un pivot et à leurs extrémités par des galets en fonte que l'on fait mouvoir au moyen de roues dentées sur un cercle de roulement en fonte placé dans le fond de la fosse, dont la hauteur a environ 1^{m},50. Les manivelles, à l'aide desquelles on met la plaque en mouvement, sont placées en dehors de la plaque au bord de la fosse.

A New-York, les embarcadères des différentes lignes de chemins de fer se trouvent situés au centre de la ville, dans le voisinage du port. Pour les lignes des chemins de Hudson, River et de Boston, qui ont à la traverser dans sa plus grande longueur, on décompose les trains et on les fait remorquer par des chevaux au trot, voiture par voiture, sur plusieurs kilomètres de distance, depuis l'embarcadère jusqu'à l'entrée de la ville et réciproquement, en suivant les différentes rues qui sont ordinairement très-fréquentées par des voitures de toute espèce et par des piétons. Ces voitures, qui ont 15 mètres de longueur, tournent, par suite de leur disposition, facilement dans des courbes de 20 mètres de rayon.

Les rues de New-York, dans lesquelles passent ces convois, ont de 8 à 10 mètres de largeur de chaussée entre les trottoirs, qui ont 6 mètres de largeur.

ATELIERS.

On distingue les ateliers de grande réparation de ceux de petite réparation.

Il n'existe jamais, même sur les lignes les plus importantes, qu'un seul atelier de grande réparation. Cet atelier est une véritable fabrique pour construire des machines aussi bien que pour les réparer ; car réparer une machine locomotive usée par un long travail, c'est souvent la reconstruire.

Quant aux ateliers de petite réparation, auxquels on donne le nom de dépôts, on ne fait ordinairement qu'y remplacer les pièces usées ou avariées.

Sur les lignes de faible parcours, situées à portée des villes ou des fabriques, on évite de construire des ateliers de grande réparation, et l'on tire des établissements voisins les pièces à remplacer, telles qu'essieux, pièces de fonderie, etc. ; mais il est toujours fort incommode de se trouver dans la dépendance de ces établissements.

C'est ainsi qu'au chemin de Liverpool à Manchester, dont les principaux ateliers de réparation étaient, lors de sa création, fort exigus et très-imparfaitement outillés, les administrateurs, ne tardant pas à sentir la nécessité de se rendre indépendants, furent conduits graduellement à augmenter l'étendue de leurs ateliers, ainsi que l'importance de leur outillage.

Aujourd'hui, sur toutes les grandes lignes, on a suivi cet exemple donné par le chemin de Liverpool à Manchester.

Sur les différents chemins que nous avons cités, les ateliers de grandes réparations sont diversement placés.

Au chemin de Londres à Birmingham, on les a établis près de la station de Wolwerton, à moitié chemin de Londres à Birmingham ; sur le chemin de Bristol à Swindon, aux deux tiers de la distance de Londres à Bristol ; au chemin de Grand-Junction, à Crewe, à moitié chemin environ de Birmingham à Liverpool.

En France, au chemin d'Orléans, les grands ateliers se trou-

vent à 1 kilomètre de la gare des voyageurs de Paris. Au chemin de Rouen, ils sont à Sotteville, éloigné de 2 kilomètres de Rouen. On compte 2 kilomètres des ateliers des chemins de Saint-Germain et Versailles (rive droite) à la gare de Paris. Au chemin de Bâle à Strasbourg, les ateliers, à peu de distance de la gare de Mulhouse, sont à 110 kilomètres de Strasbourg et à 30 kilomètres de Bâle. Sur le chemin de Montpellier à Nîmes, on les a construits dans la gare même de Montpellier.

Au chemin de Strasbourg, ils sont placés à Épernay, à 141 kilomètres de Paris et 360 de Strasbourg. On les avait d'abord projetés à Paris, et, sans le désir d'utiliser les dépenses considérables faites déjà pour un établissement provisoire à Épernay, on les eût très-probablement établis à Bar-le-Duc, au centre de la ligne.

En Belgique, les ateliers centraux de Malines sont à 25 kilomètres de Bruxelles, 55 kilomètres de Gand, 25 kilomètres d'Anvers et 85 kilomètres de Liége.

En Allemagne, sur le grand chemin septentrional de Vienne à Raab, les ateliers de grandes réparations font partie des bâtiments de la gare de Vienne.

On voit que les ingénieurs des grandes lignes ne semblent pas s'être attachés essentiellement à placer les ateliers en un point déterminé de la ligne, tel que le serait le milieu ou l'une des extrémités. Ils les ont établis tantôt sur un point, tantôt sur un autre : partout où l'on a pu acquérir à un prix raisonnable de vastes terrains voisins de la ligne.

Lorsque les ateliers principaux sont placés dans les gares de départ ou d'arrivée, ils se trouvent sous la surveillance immédiate de l'ingénieur en chef et des administrateurs qui habitent ordinairement les villes à l'extrémité de la ligne; mais, d'un autre côté, ils occupent dans ces gares un terrain ordinairement très-précieux, et, si la gare est dans l'intérieur d'une ville, les ouvriers ne peuvent se loger et se nourrir à proximité qu'à grands frais.

En outre, ils deviennent des foyers d'insurrection fort dangereux dans les moments d'agitation politique.

Lorsque, au contraire, les grands ateliers sont éloignés des villes, on les place facilement à la proximité des grands centres de production, dont ils peuvent tirer les matières premières à bon marché, les ouvriers sont logés et nourris à meilleur marché et ne sont pas exposés à l'influence démoralisatrice des grandes villes. Ils sont aussi plus facilement surveillés et plus facilement contenus.

Les ateliers auxiliaires ou dépôts sont distribués sur la ligne à des distances variables.

Au chemin d'Orléans, on en a établi à Orléans; à Étampes, à 65 kilomètres d'Orléans; à Corbeil, à 31 kilomètres de Paris; à Toury, à 33 kilomètres d'Étampes, et à Saint-Michel, à 29 kilomètres de Paris.

Au chemin de Rouen, dont l'exploitation est à l'entreprise, on trouve des ateliers pour les petites réparations près de Batignolles.

Au chemin de Strasbourg, on rencontre des dépôts à Paris, à Meaux (45 kilomètres de Paris), à Château-Thierry (50 kilomètres de Meaux), à Épernay (47 kilomètres de Château-Thierry), à Blesme (75 kilomètres d'Épernay), à Bar-le-Duc (37 kilomètres de Blesme), à Lérouville (35 kilomètres de Bar-le-Duc), à Nancy (63 kilomètres de Lérouville), à Sarrebourg (79 kilomètres de Nancy), à Saverne (27 kilomètres de Sarrebourg), à Metz (56 kilomètres de Nancy) et à Forbach (72 kilomètres de Metz).

Sur le chemin de Lyon, les dépôts sont placés à Paris, à Montereau, à Laroche, à Tonnerre, à Monbar, à Dijon, à Châlons, à Mâcon et à Lyon (Vaise), à des distances de 79, 76, 42, 46, 72, 58 et 66 kilomètres.

Dans l'origine, les dépôts étaient très-rapprochés. Ainsi, sur le chemin d'Orléans, ils se trouvaient généralement écartés de 25 kilomètres seulement, et sur celui de Lyon, on s'était attaché à ne pas les placer à des distances de plus de 40 kilomètres. Le matériel se perfectionnant et les machinistes acqué-

rant plus d'habileté, on a pu augmenter le parcours des machines et éloigner davantage les dépôts. On en porte aujourd'hui la distance sans inconvénient jusqu'à 80 kilomètres environ. S'il s'en trouve de plus rapprochés, cela tient à des circonstances particulières.

Ainsi, sur le chemin de Strasbourg, l'établissement du dépôt de Meaux a été nécessité par les trains de banlieue; celui de Blesme, par l'embranchement de Gray; celui de Lérouville, par le voisinage des rampes; celui de Nancy, par l'embranchement de Metz; et enfin celui de Saverne, par le voisinage des souterrains et par le service de banlieue de Strasbourg.

Sur le chemin de Lyon, on a placé un dépôt à Laroche à cause de l'embranchement d'Auxerre, et un à Monbar à cause du voisinage des rampes.

Sur celui de Strasbourg à Bâle, il n'y a de dépôt qu'à Colmar, à 68 kilomètres de Strasbourg et à 73 kilomètres de Bâle, et à Strasbourg.

Sur les grandes lignes, on trouve toujours, outre les ateliers principaux, des ateliers auxiliaires situés souvent dans les gares d'arrivée et de départ, ou à leur proximité.

Ainsi il en existe sur le Great-Western railway, dans l'intérieur de la gare de Londres, et à une petite distance de celle de Bristol, sur le chemin de Londres à Birmingham, dans la gare de Birmingham, et à proximité de la gare de Londres (Cambden Town).

Au chemin de Strasbourg, il existe, outre les grands ateliers de réparations pour les machines à Épernay, des ateliers d'une importance secondaire à Montigny-lez-Metz, et un atelier pour la réparation et la peinture des voitures à la Villette près Paris.

Au chemin de Lyon, les grands ateliers sont à Paris, et il existe une succursale importante à Dijon, où s'embranche le chemin de Besançon.

C'est ordinairement dans les ateliers ou dans les remises qui en dépendent que les machines vont s'abriter la nuit. Lors donc

que ces ateliers ne sont pas placés dans la gare même, les machines ont à parcourir tous les jours une certaine distance. Il faut, autant que possible, éviter ces manœuvres qui, en se multipliant, finissent par devenir assez dispendieuses. D'ailleurs les réparations à faire aux machines, tenders ou wagons, sont bien plus faciles lorsque les ateliers sont près des stations, et il importe surtout, pour le service, que les communications entre les gares et les ateliers ou remisages et réserves de matériel soient promptes et faciles.

Nous avons déjà parlé de l'espace occupé par les ateliers principaux des différents chemins de fer. Ces ateliers doivent toujours renfermer :

Un atelier de montage de machines avec bancs d'ajusteur;

Un atelier de machines-outils ;

Un atelier de forges ;

Un atelier spécial pour la réparation des roues ;

Un atelier de chaudronnerie ;

Un atelier de réparations de voitures ;

Un atelier de peinture et une sellerie, avec dépendances pour menuisiers, tourneurs en bois, charrons, etc., et des hangars avec une cour pour les charpentiers ;

Des magasins avec logement pour le garde-magasin ;

Un bâtiment pour loger le directeur des ateliers et placer le bureau de l'administration des ateliers, des dessinateurs, etc. ;

Des réservoirs, des grues hydrauliques, etc.;

Quelquefois, mais très-rarement, ils renferment une fonderie de fonte ; plus souvent une fonderie de cuivre.

Au chemin de Grand-Junction, les ateliers se subdivisaient, il y a quelques années, lorsque nous les avons visités, en trois grandes sections :

1° La section pour la réparation des machines ;

2° La section pour la réparation des voitures de voyageurs ;

3° La section pour la réparation des wagons de marchandises.

Les bâtiments qui composent les ateliers sont ordinairement placés autour d'une ou plusieurs cours quadrilatérales (Orléans, Wolverton, Crewe, Malines, Vienne).

Cette disposition est très-convenable en ce qu'elle permet :

1° De bien éclairer les ateliers ;

2° De ne laisser entrer et sortir les ouvriers que par une seule porte ;

3° D'établir une communication facile entre les différents bâtiments ;

4° De laisser libre un espace convenable pour les chantiers en plein air au centre même des ateliers, à portée de chacun d'eux ;

5° De faciliter la surveillance ; toutes conditions qu'il est très-important de remplir simultanément.

Une disposition vicieuse des ateliers, aussi bien qu'une disposition mal étudiée des gares, entraîne dans des frais d'exploitation plus élevés qu'on ne l'avait prévu.

Les forges, les ateliers de montage et la chaudronnerie sont généralement établis sous de simples hangars (Orléans, Wolverton, Crewe, Malines).

Le bâtiment des machines-outils souvent aussi consiste en un simple hangar (Orléans, Wolverton, Crewe).

Quelquefois cependant il est à deux étages. Les grosses machines sont alors placées au rez-de-chaussée et les machines les plus légères au premier étage (Derby, etc.). Les bâtiments pour la réparation des voitures sont très-souvent à deux étages (Malines, Derby, etc.).

Les travaux de peinture et de sellerie se font au premier, les travaux de charpente au rez-de-chaussée.

Les ateliers à deux étages coûtent naturellement moins cher d'établissement que ceux à un étage ; mais le service y est plus difficile et les manœuvres beaucoup plus coûteuses.

Les ateliers sont ordinairement éclairés sur le côté par de très-grandes fenêtres ; il importe qu'ils reçoivent beaucoup de jour, ceux de montage et de machines-outils surtout.

Les pièces pour les réparations de machines sont d'abord forgées, puis achevées dans l'atelier des machines-outils, et enfin employées dans l'atelier de montage. Il convient donc que les bâtiments des forges, des machines-outils et de montage soient placés à la suite les uns des autres comme ils le sont au chemin d'Orléans.

On place des bancs d'ajusteur dans les ateliers des machines-outils et dans ceux de montage, mais il faut éviter d'y placer des forges. La poussière du charbon, en pénétrant dans les machines-outils et dans les machines locomotives, leur deviendrait très-nuisible.

Les charpentiers travaillant en même temps aux machines, aux tenders et aux voitures, les hangars qui leur servent d'abri ne doivent pas être très-éloignés ni des ateliers affectés plus spécialement à la réparation des machines, ni de ceux où l'on répare les voitures.

La chaudronnerie, où l'on fabrique et répare les chaudières de locomotives et les tenders, doit être, autant que possible, placée entre le bâtiment des forges et le hangar des charpentiers, ou du moins à proximité de l'un et de l'autre, la fonderie de laiton à côté de la chaudronnerie.

Les ateliers doivent être assez vastes pour que les appareils s'y logent facilement et que les ouvriers y circulent et travaillent aisément.

Nous citerons comme exemples d'ateliers bien disposés ceux de Lyon, d'Orléans, du Nord et de Strasbourg.

La charpente des ateliers d'ajustage doit être assez solide pour qu'on puisse y prendre des points d'appui pour les arbres et roues servant à mettre en mouvement les différentes machines.

Pour les autres ateliers, les charpentes peuvent être moins massives ; néanmoins il convient de les combiner de telle façon qu'on puisse y prendre des points d'appui pour les grues de 3 à 4000 kilogr.

Les ateliers de montage sont généralement munis de grandes

grues roulantes qui permettent de suspendre les chaudières des machines et de les séparer de leur train, ou même de soulever des machines tout entières. Cette disposition est infiniment moins coûteuse que celle qui consisterait à avoir à portée de chaque machine un appareil à demeure qui permettrait de l'enlever. Mais le matériel des chemins de fer exige en outre, pour la construction et l'entretien, un outillage tout spécial et d'une grande importance, surtout en ce qui concerne les roues et les ressorts, car la réparation des roues donnent lieu à l'une des dépenses les plus considérables des ateliers.

Les machines qui composent l'outillage pour la construction et pour la réparation des machines locomotives diffèrent peu de celles qu'on emploie dans les fabriques de machines fixes.

Il convient de disposer des voies de fer dans toutes les parties de l'atelier où l'on doit amener les pièces à réparer, et surtout dans celles où doivent entrer les machines, comme la chaudronnerie ; il en est de même pour la menuiserie, les tours, machines à percer, appareils de calage, etc.

La superficie de la partie couverte des ateliers du chemin de Strasbourg (fig. 227) se subdivise de la manière suivante :

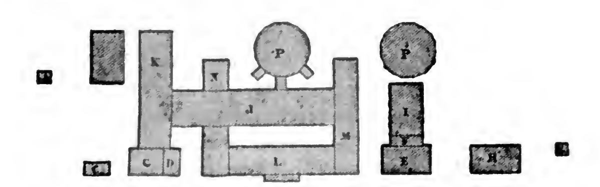


Fig. 227. *Dispositions et ateliers d'Épernay.*

LÉGENDE :

A	Concierge.	9×9 = 81		
B	Préposé au coke.	9×9 = 81	412	
C	Logements.	20×12,05 = 250		
D	Bureaux.	12×24 = 288		
E	Magasins.	40×24 = 960	1 456	
F	Magasin à fer.	8×26 = 208		

G	Menuiserie	28×24	= 672	2 854
H	Magasin à bois	40×24	= 960	
I	Bâtiment disponible	47×26	=1222	
J	Montage — Machines	136×30	=4080	6 680
K	Montage — Tenders	100×26	=2600	
L	Ajustage	90×24	=2160	5 732
M	Forges	100×20	=2000	
N	Chaudronnerie	70×20	=1400	
O	Machine à vapeur	25×4	= 100	
	Passage	12×6	= 72	
PP	Remises de locomotives			
				17 134

La surface des terrains est de 9 hectares.

Ces ateliers suffisent pour la réparation d'un matériel de 250 à 300 locomotives.

MAISONS DE GARDES.

Après avoir parlé des bâtiments établis dans les stations pour le service des voyageurs et des marchandises ou pour les ateliers, il ne sera sans doute pas hors de propos de dire quelques mots de ceux qui contiennent le logement des gardiens des passages à niveau et qui sont placés près de ces passages.

Les maisons de gardes, établies dans l'origine sur les chemins de fer en exploitation, ont été exécutées sur des dimensions et dans des conditions qui ont nécessité des dépenses assez considérables. Sur les chemins de fer du Nord, de Lyon et de Strasbourg, les maisons de gardes construites par l'État sont composées d'un rez-de-chaussée, d'un premier étage et d'une cave assez vaste; elles sont revenues à 4000 francs en moyenne. Il en est de même des maisons d'éclusiers construites sur les divers canaux exécutés par le gouvernement.

Les Compagnies ayant reconnu qu'il y avait plus de sûreté et en définitive plus d'économie à établir des maisons de gardes à tous les passages à niveau pour que le service puisse en être fait par les femmes des poseurs employés à l'entretien, et le nombre des maisons de gardes étant appelé à devenir plus considérable que dans l'origine, on a recherché si l'on ne pourrait pas établir des bâtiments d'une importance moindre et en conséquence d'une dépense beaucoup plus restreinte.

Aux chemins de fer du Nord et d'Amiens à Boulogne, il a été construit des maisons à simple rez-de-chaussée et grenier avec four et cellier dont la dépense ne s'est pas élevée à plus de 2200 francs ; mais on a reconnu qu'elles étaient trop exiguës, et pour les lignes nouvelles on a admis un type dont le prix de revient est plus élevé.

Le type des maisons de gardes, sur le chemin du Midi, n'admet qu'un rez-de-chaussée composé de trois pièces. Le devis se monte à 2700 francs.

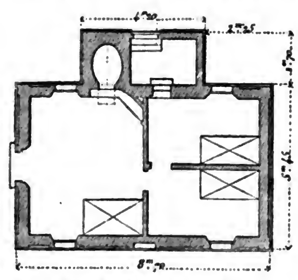


Fig. 228. *Maison de garde.*

Plusieurs projets ont été faits pour les nouvelles lignes concédées à la Compagnie de l'Est.

D'après le premier de ces projets (fig. 228), il n'y aurait que trois pièces au rez-de-chaussée avec un four et un petit cellier à l'extérieur du corps principal, et sur le corps principal un grenier dans lequel on monterait avec une échelle de meunier. La surface totale du rez-de-chaussée serait de 54m,46. Le bâtiment aurait à peu près à l'extérieur l'apparence des maisons de gardes du chemin de Strasbourg.

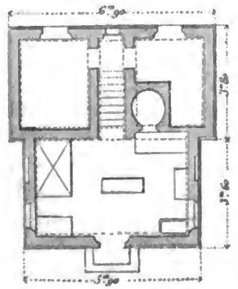


Fig. 229. *Maison de garde.*

D'après le second projet (fig. 229), il y aurait deux corps de bâtiment reliés ensemble; le premier en avant n'aurait qu'un rez-de-chaussée, et le second serait surélevé d'un étage. Il y aurait au rez-de-chaussée du bâtiment de derrière un four avec un cellier et une autre pièce pour magasin. Au premier étage de ce dernier bâtiment se

trouveraient deux pièces pouvant servir de chambres à coucher.

La dépense d'établissement s'élèverait dans ce cas à environ 2700 francs.

La Compagnie de l'Est a adopté ce dernier projet pour les maisons de gardes des passages à niveau établies en rase campagne, sur les lignes qui lui ont été nouvellement concédées.

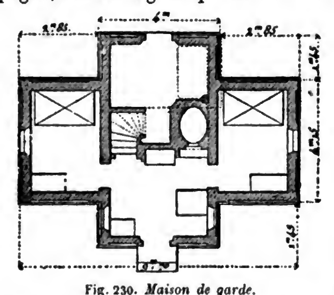


Fig. 230. *Maison de garde.*

Le chiffre de 2700 francs est celui de la dépense maxima dans les cas ordinaires. Elle pourrait être augmentée dans le cas de fondations exceptionnelles.

Quant aux maisons de gardes à établir pour le service des passages à niveau dans les villes ou les chefs-lieux de canton, elles auront la même forme à peu près et le même aspect que celle fig. 230. Les dimensions en seront seulement un peu plus grandes, et il y aura une pièce de plus au rez-de-chaussée. La dépense pour ce dernier type s'élèvera à 3200 francs.

DÉCORATION ARCHITECTONIQUE DES GARES.

L'architecture d'un monument doit révéler sa destination. Les péristyles annoncent les théâtres, les temples anciens et les églises modernes. Les clochers, les tours élevées, les portes en ogive caractérisent les églises du moyen âge. Les gares de chemin de fer, celles des extrémités surtout, ont aussi leur architecture spéciale. Dans les gares terminales, comme dans tous les édifices qui servent de réunion à un public nombreux, il existe souvent des péristyles au fond desquels se dessinent des portes ou des fenêtres en plein cintre de grandes dimensions, destinées à éclairer d'immenses vestibules ou à

Pl 10



Gare des Chemins de fer de l'Est à Paris

donner issue au flot des voyageurs qu'amène chaque convoi. Mais ce qui caractérise surtout la façade principale, c'est une horloge *monumentale*, et, quand cette façade ferme la gare, un grand arc ou un immense fronton qui accuse la forme du comble recouvrant la halle des voyageurs.

La gare terminale des chemins de l'Est (fig. 231) (à Paris) offre l'exemple le plus saillant de cette architecture des chemins de fer. Il était à regretter que les voitures ne pussent pas accéder sous la colonnade pour y débarquer et embarquer les voyageurs à l'abri ; mais l'ouverture du boulevard de Sébastopol ayant nécessité l'établissement d'un perron, cette faculté leur eût été dans tous les cas interdite. Les chapiteaux des colonnes sont ornés de sculptures reproduisant les différents produits agricoles cultivés sur le parcours de la ligne. Cette décoration originale n'est pas d'un mauvais effet. Au dessus des colonnes, entre les retombées, l'architecte a placé les armes des différentes villes desservies par le chemin. L'horloge est d'une grande élégance ; elle sert d'appui à deux gracieuses statues à demi couchées, la Seine et le Rhin, dont les artistes s'accordent à faire l'éloge. Au sommet du fronton est assise la ville de Strasbourg dans une chaise curule. La rosace en fer et en verre qui ferme le grand arc en pierre terminant la halle est d'un dessin remarquable et, placée à quelques mètres en arrière de la colonnade qu'elle surmonte, elle produit l'effet le plus heureux. A droite et à gauche enfin s'élèvent deux pavillons en saillie dont la façade est dans le même plan que celle du péristyle. L'architecte, M. Duquesney, auteur de ce beau travail, a trop peu vécu pour le voir achevé.

La même pensée a présidé à l'étude de la façade de la gare terminale du chemin de fer de l'Est, à Strasbourg, mais le bâtiment a été construit sur de moins grandes dimensions et le grand arc a été remplacé par un double fronton.

A côté de la gare terminale du chemin de Strasbourg à Paris il faut citer celle du chemin du Nord à Bruxelles. La façade (fig. 232) du bâtiment placé en tête est d'une architec-

ture grande et riche. L'admission des voyageurs a lieu par le côté. Les façades latérales sont en harmonie avec celle de l'extrémité, mais elles sont un peu moins riches.

Pour des gares moins importantes que celles du chemin de l'Est, il aurait été hors de propos d'adopter une décoration architectonique aussi riche, aussi grandiose. La façade de ces gares doit être en rapport avec le mouvement de la ligne desservie. Comme modèles de façades moins saillantes que celle de la gare de Strasbourg et cependant bien appropriées au chemin auquel elles servent de tête, nous citerons la façade du bâtiment de Saint-Germain à Paris et celles des deux chemins de Versailles, à Versailles[1].

Au chemin de Saint-Germain on accède immédiatement, par un magnifique perron et par plusieurs portes cintrées, à un beau vestibule, et des deux côtés de la cour règnent des galeries sous lesquelles on peut, dans les temps de pluie, descendre à couvert pour monter ensuite au vestibule par des escaliers latéraux également couverts.

La gare extrême du chemin de Versailles, rive gauche, à Versailles, est entièrement ouverte comme le représente la figure 233. Le public placé à l'extérieur peut donc jouir de l'intéressant spectacle que lui offre le mouvement des convois et des locomotives à l'intérieur. Le fronton et l'entablement sont en plâtre; mais ils avaient été projetés en fonte, ce qui eût été beaucoup plus convenable. La raison d'économie, puissante pour une Compagnie dont le capital est épuisé, a seul fait donner la préférence au plâtre.

La façade extrême de la gare de Metz (sud) a une grande analogie avec celle que nous venons de décrire; seulement elle est fermée dans toute sa hauteur par un vitrage et toute la décoration consiste en bois découpé.

La façade de la gare extrême du chemin de Versailles, rive droite, à Versailles (fig. 234) est simple mais d'un goût très-pur.

1. C'est M. Armand, architecte, qui a fait le projet de la gare de Saint-Germain et de celle de Versailles, rive droite.

Paris Imp. Gény grav. r. St Jacques 33.

Gare des Chemins de fer du Nord, à Bruxelles

La figure 235 représente une espèce d'arc de triomphe qui sert de point de départ au chemin de Londres à Birmingham,

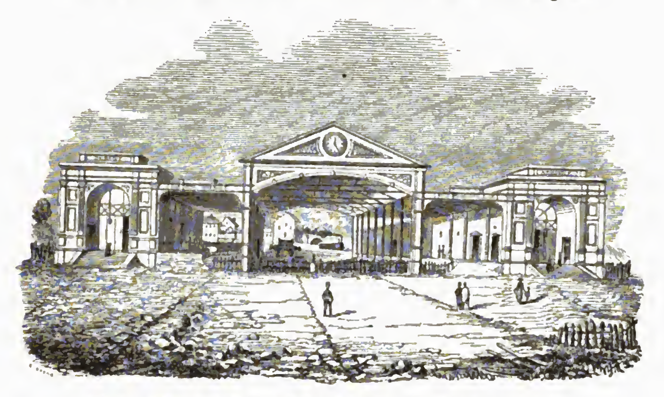


Fig. 233 *Façade extrême du chemin de Versailles (rive gauche), à Versailles.*

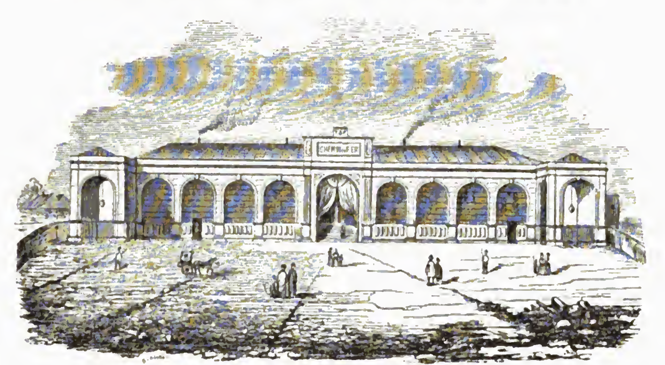


Fig. 234. *Façade extrême du chemin de Versailles (rive droite), à Versailles.*

l'un des premiers construits en Angleterre et que l'on pourrait appeler le grand chemin du Nord anglais. Nous ne saurions

approuver ce monument dont l'architecture n'est nullement en

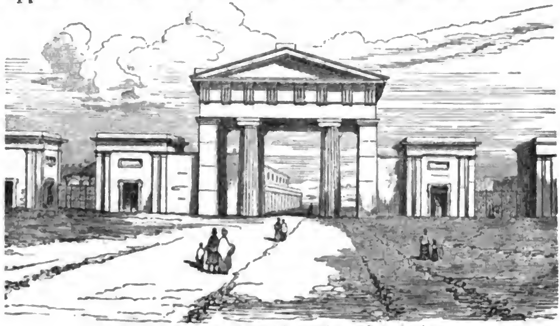


Fig. 235. *Gare du chemin de Londres à Birmingham.*

rapport avec la destination de la grande voie ferrée dont il forme la tête.

L'architecture des stations intermédiaires placées dans de grandes villes doit être en rapport avec celle des édifices principaux de la ville. Ainsi à Nancy, ville toute monumentale, l'architecture de la station rappellera celle des belles créations de Stanislas.

Les petites stations isolées dans les campagnes doivent être construites avec une grande simplicité. Celles du chemin de fer

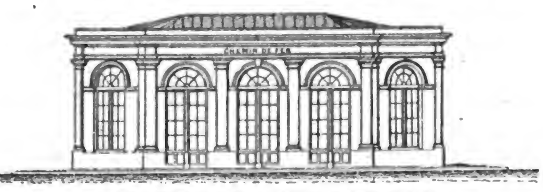


Fig. 236 *Station de la Porte-Maillot. Chemin d'Auteuil.*

d'Auteuil (fig. 236) n'ont qu'un simple rez-de-chaussée éclairé par de hautes et larges fenêtres cintrées. Celles du chemin badois (fig. 237 et 238), dans la belle vallée du Rhin, ne sont autre chose que d'élégantes maisons de paysans, de gracieux chalets.

Les stations principales du même chemin méritent également d'être reproduites. La figure 239 représente l'élévation de celle de Fribourg en Brisgau. On remarquera la campanille qui surmonte le bâtiment et qui contient l'horloge. Des campanilles semblables se retrouvent dans presque toutes les stations de quelque importance de ce chemin.

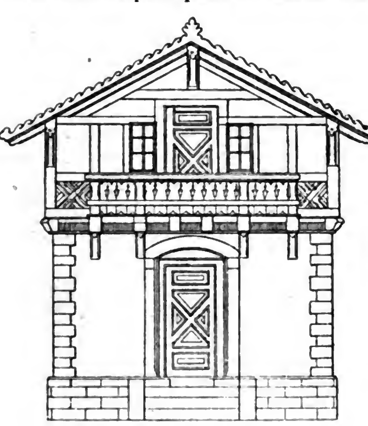


Fig. 237. *Station badoise.*

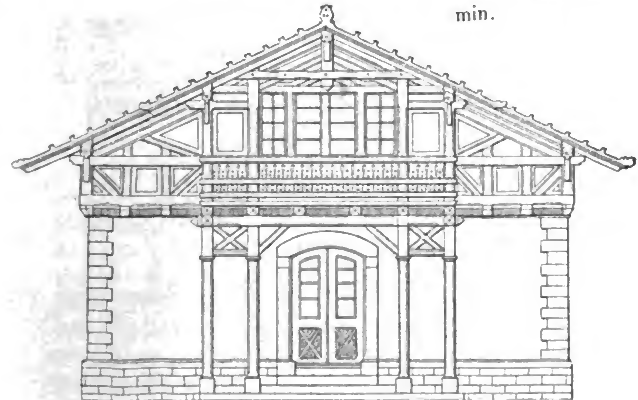


Fig. 238. *Autre station sur les chemins badois.*

Fig. 239. *Gare de Fribourg en Brisgau.*

CHAPITRE X.

DES WAGONS OU VOITURES EMPLOYÉES SUR LES CHEMINS DE FER.

Généralités. — Le choix et la bonne exécution du matériel définitif d'un chemin de fer sont de la plus grande importance. Avec un matériel défectueux, la dépense n'augmente pas seulement du surcroît des frais d'entretien, mais aussi de celui des frais de traction qu'il nécessite.

On doit donc apporter toute l'attention possible à l'étude du matériel roulant, et en faire la commande de telle sorte que le fabricant puisse approvisionner ses matériaux, sécher ses bois et travailler avec soin ; sans cela, on perd le droit d'être exigeant lors de la réception.

On confie généralement la construction de ce matériel à un ou plusieurs fabricants ; quelquefois cependant les grandes compagnies l'exécutent dans leurs propres ateliers.

Lorsque, pour la première fois, on fit rouler un wagon sur un chemin de fer, on s'aperçut bientôt qu'il ne suffisait pas, pour qu'il se maintînt sur les rails, que les roues fussent munies de rebords. Les voitures à deux roues, de quelque manière qu'on les construisît, toutes les fois qu'une des roues venait à rencontrer un obstacle, tournaient et sortaient infailliblement de la voie. Il en était de même de celles à quatre roues, quand les roues étaient mobiles sur l'essieu ou que l'essieu de devant pouvait changer de direction indépendamment du corps de la voiture, comme dans les voitures qui marchent sur les routes ordinaires. Les roues étant mobiles et les essieux parallèles, la roue jumelle, c'est-à-dire la roue portée sur le même essieu que celle arrêtée par l'obstacle, continuait à tourner et entraînait le mouvement de rotation, ainsi que le déraillement de la voiture.

Les essieux changeant de direction indépendamment l'un de l'autre, un effet analogue se produisait. L'essieu portant la roue devenue stationnaire occasionnait alors le déraillement, en prenant une direction inclinée sur celle de l'autre essieu.

A l'entrée des courbes, le rebord de la roue d'avant placée du côté de la convexité de la courbe rencontrait nécessairement le rail; l'essieu changeait de direction en s'éloignant de celle du rayon de la courbe, et le wagon était encore jeté hors des rails.

C'est ainsi que l'on fut conduit par l'expérience :

1° *A n'employer sur les chemins de fer que des voitures à quatre roues au moins ;*

2° *A rendre les roues jumelles solidaires en les fixant sur les essieux, lesquels tournaient alors dans des boîtes fixées au corps de la voiture ou aux ressorts qui la portent ;*

3° *A disposer les essieux de manière qu'ils restent invariablement parallèles ou à peu près dans les wagons à quatre roues. De cette façon, l'essieu d'avant ne peut changer de direction sans que le corps de la voiture en change également.*

Les wagons des chemins de fer diffèrent donc essentiellement des voitures employées sur les routes ordinaires.

Les wagons à quatre roues sont le plus généralement en usage; cependant on en fait aussi à six et à huit roues.

Dans les wagons à six roues, les essieux sont ordinairement parallèles. Sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, toutefois, on s'est servi pendant longtemps de voitures à six roues dont un des essieux pouvait tourner dans un plan parallèle à celui du chemin, indépendamment des deux autres.

Dans ceux à huit roues, les essieux ne sont parallèles que deux à deux. La caisse, comme on peut le reconnaître fig. 240, est portée sur deux trains distincts, à quatre roues chacun, qui peuvent tourner indépendamment l'un de l'autre, chacun autour d'une cheville ouvrière perpendiculaire au plan du chemin.

On distingue dans un wagon deux parties principales, savoir : le *train* et la *caisse*.

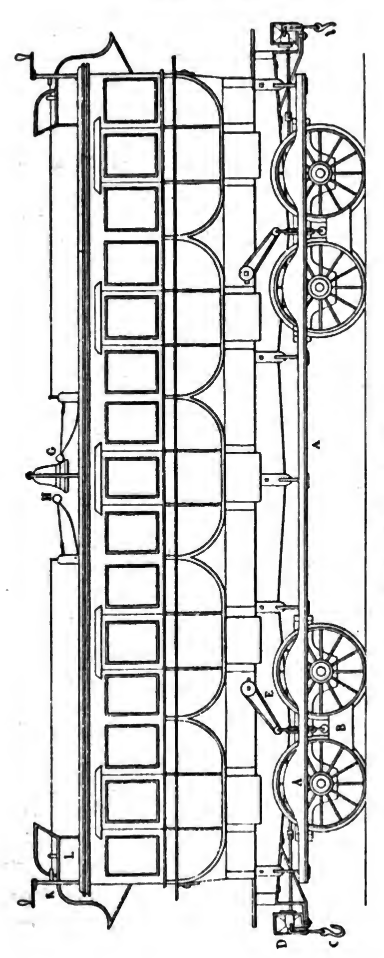


Fig. 240. *Wagon à huit roues.*

La caisse, dont les formes et dimensions sont très-variables, suivant le genre de transport auquel elle est destinée, est portée sur le train (fig. 241). Celui-ci se compose généralement d'un

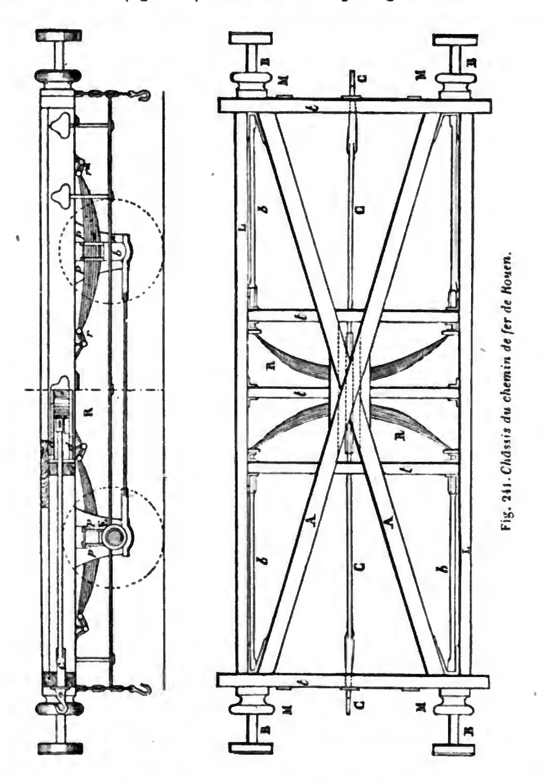


Fig. 241. Châssis du chemin de fer de Rouen.

cadre ou *châssis* en charpente dont la forme est à peu près la même pour toutes les sortes de wagons employés dans un chemin de fer. Ce cadre repose sur les extrémités des *ressorts de*

suspension r r, auxquels sont liés en leur milieu, par des boulons à brides, les boîtes à graisse *b*. La boîte à graisse est maintenue entre les deux saillies d'une plaque en fer battu ou en tôle épaisse solidement fixée au châssis, dite *plaque de garde p p*; elle peut ainsi glisser de haut en bas ou de bas en haut dans cette plaque, en faisant jouer le ressort; mais elle est entraînée dans le mouvement de translation de la voiture.

Les boîtes à graisse reposent sur les *fusées des essieux* E, et forcent à leur tour ceux-ci à suivre le mouvement du véhicule; on voit par là que tout le poids de la voiture repose sur les extrémités des essieux par l'intermédiaire des ressorts et des boîtes à graisse. Il existe cependant des wagons non suspendus dans lesquels les boîtes à graisse sont directement fixées au châssis. Dans ce cas, les ressorts et les plaques de garde sont supprimés.

Enfin les châssis portent des appareils destinés à relier entre eux et avec le moteur les wagons qui composent le train. Ces appareils sont munis en général de *ressorts* dont le but est d'amortir les chocs qui se produisent entre les différentes voitures d'un convoi.

Châssis. — Dans les châssis actuellement employés sur presque tous les chemins de fer, les principales différences proviennent de la disposition des appareils d'attelage dits de *choc et traction*. Nous allons donc nous occuper simultanément des châssis et des appareils d'attelage.

La figure 241 représente en plan et en coupe le châssis des voitures du chemin de fer de Paris à Rouen, qui a servi de type à tous ceux des lignes construites en France depuis quelques années.

Il se compose de deux *longérons* ou *brancards* L L en bois (fig. 241), assemblés à tenons dans deux *traverses extrêmes t t* et réunis en outre par trois *traverses intermédiaires t' t' t'* également assemblées à tenons dans les brancards.

Une *croix de Saint-André*, composée de deux pièces de bois A A qui se croisent au moyen d'une entaille à mi-bois, donne au châssis l'invariabilité de forme dont il a besoin pour

résister aux efforts auxquels il est soumis pendant la marche du convoi.

Tous les assemblages de ces pièces entre elles sont consolidés au moyen d'*équerres en fer* et de *boulons*.

Deux *grands ressorts de choc et de traction* R R (fig. 241) sont attachés en leur milieu aux *tiges de traction* C C, munies de crochets à leurs extrémités qui dépassent les traverses extrêmes.

Par leurs deux bouts, ces ressorts appuient sur de petites *mannettes* en fonte qui terminent les *tiges de tampon* B *b*. Ces tiges sont munies à leur autre extrémité de tampons B en bois dur; les ressorts sont guidés en leur milieu par deux *cadres d d*, en fer plat, fixés au moyen de sabots en fonte sur les traverses intermédiaires de part et d'autre des ressorts.

Voici comment fonctionne cet appareil :

Quand on exerce un effort sur la tige de traction, le ressort correspondant perd de sa flèche, et appuie alors fortement par ses extrémités sur la traverse du châssis qu'il entraîne progressivement et sans secousse.

Si l'on suppose un second châssis attelé au premier par les crochets de traction, dès que le premier se sera mis en mouvement, il tendra à entraîner le second; mais cet effet n'aura lieu que quand le ressort d'arrière du premier et celui d'avant du second wagon se seront assez aplatis pour acquérir une tension équivalente à la résistance qu'oppose un wagon. On voit donc que le démarrage de tout un train se fera successivement, et donnera lieu à peu ou point de secousses.

Si la liaison des wagons qui composent un train ne se faisait qu'au moyen de l'appareil de traction, dès que l'avant du train ralentirait son mouvement, tous les wagons placés derrière viendraient choquer ceux qui les précèdent, en vertu de leur vitesse acquise.

Pour éviter les détériorations du matériel qui résulteraient de ces chocs, on dispose les tampons B B de manière à ce qu'ils se touchent d'une voiture à l'autre. Quand le ralentissement dont nous venons de parler a lieu, la queue du train appuie

sur les tampons du premier wagon et fait fléchir le ressort R (fig. 241). Ce ressort est maintenu en son milieu par la tige de traction et pressé à ses extrémités par les tiges de tampons qui cèdent en glissant dans le sens de la longueur du châssis. Ici encore le ralentissement ne se fait que progressivement de l'avant à l'arrière du train.

Dans le châssis du chemin de fer de Paris à Rouen, les tiges de tampons sont guidées par de petits sabots en fonte *s s*, fixés (fig. 241) sur les traverses intermédiaires, et par des *faux tampons m m* en bois, garnis intérieurement de fer, fixés sur les traverses extrêmes. Ces tiges sont carrées dans la partie qui traverse le faux tampon, et rondes au delà.

Des deux tampons placés à une même extrémité d'un wagon, l'un est ordinairement plat et l'autre convexe. Le tampon plat est en contact avec un tampon convexe du wagon contigu, et le tampon convexe avec un tampon plat.

Dans les châssis des chemins de fer construits plus récemment, le faux tampon est en fonte, la partie de la tige qui le traverse est ronde et tournée avec soin, tandis que le reste est carré. On obtient de cette manière des appareils construits avec plus de précision et qui cependant ne laissent rien à désirer sous le rapport de la douceur du mouvement.

Autrefois on munissait fréquemment les châssis de ressorts de choc et de traction distincts. Cette disposition est bonne en principe, mais elle augmente les frais d'établissement des wagons. On a aussi quelquefois placé les ressorts de choc et de traction contre les traverses extrêmes du châssis. On raccourcit ainsi les tiges de traction et des tampons ; mais on charge les extrémités du châssis qui fléchissent souvent, et l'on fatigue les traverses qui supportent tous les chocs.

Au chemin de Versailles (rive gauche), on a fait usage de ressorts de choc et de traction beaucoup plus petits (fig. 242). Ces ressorts *r r'* étaient du genre de ceux que l'on nomme *ressorts à pincettes*, et s'appuyaient par leurs extrémités sur la traverse du milieu du châssis. Les tiges *t t*, qui servaient

en même temps de tiges de choc et de tiges de traction, portaient à l'une de leurs extrémités un tampon et à l'autre des étriers qui embrassaient les deux ressorts. L'une des tiges portait un seul étrier; l'autre se terminait par une fourche dont chacun des bras formait étrier. Des deux côtés des tampons se trouvaient des crochets et des anneaux recevant les anneaux ou les crochets des chaînes réunissant les voitures. Lorsque l'effet de traction s'exerçait sur la tige B, le ressort était tiré dans la direction $x\ y$ par son milieu et pressait en se ployant la traverse T par ses extrémités. Cette traverse entraînait le wagon. Dans le cas d'un choc, c'était le ressort r' qui travaillait et qui alors était poussé en son milieu dans la direction $y\ x$.

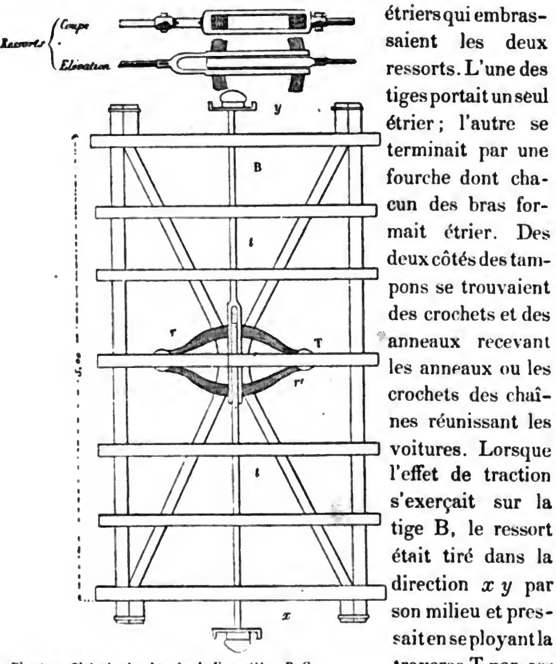


Fig. 212. *Châssis du chemin de Versailles, R. G.*

La croix de Saint-André de ces châssis était formée de deux pièces de bois courbées à la vapeur. L'ensemble en était simple et solide; mais les tampons, dans ce système, ne se touchant qu'en un seul point, le déplacement latéral s'opérait plus facilement, ce qui augmentait le mouvement de lacet.

Quand les châssis deviennent très-longs, on multiplie le nombre des traverses intermédiaires et l'on met quelquefois deux croix de Saint-André, parce qu'une croix unique présenterait des angles trop aigus et ne résisterait pas suffisamment aux efforts qui tendent à déformer le châssis, et surtout parce qu'elle gênerait le passage des roues.

On a employé quelquefois des *ressorts à boudin* pour les appareils de choc et traction. Nous citerons le châssis du chemin de fer de Glocester à Birmingham, dans lequel l'attelage présente encore cette particularité que les deux crochets de traction sont fixés sur une tige unique. Cette tige agit sur le châssis par l'intermédiaire des ressorts; mais, comme elle est liée par un appareil inextensible aux tiges des autres wagons qui composent le train, l'effort du moteur s'exerce *simultanément* et non *successivement* sur toutes ces voitures. En Angleterre, on fait encore fréquemment usage de ressorts formés d'une barre d'acier méplat contourné en volute.

Depuis quelques années, on se sert aussi sur plusieurs lignes de chemin de fer d'appareils de choc et de traction dans lesquels les ressorts en acier sont remplacés par des rondelles en *caoutchouc volcanisé*.

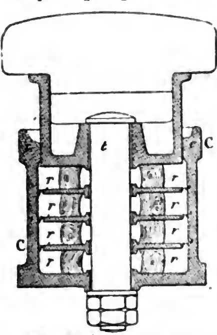


Fig. 243. Tampon de choc.

La fig. 243 représente un tampon de choc de cette espèce. Il se compose d'une cuvette en fonte C alézée dans la partie *c c*. Un cylindre creux en fonte tourné pénètre à frottement doux dans cette cuvette; il est muni d'une tige cylindrique *t* en fer fixée en son milieu; cette tige traverse le fond de la cuvette et porte à son extrémité un écrou qui sert à donner la tension nécessaire aux *rondelles de caoutchouc volcanisé r r* contenues dans la cuvette et séparées les unes des autres par d'autres rondelles en fer ou en cuivre *r' r'*.

Les ressorts de traction en caoutchouc volcanisé présentent beaucoup d'analogie avec les précédents.

Les tampons de choc en caoutchouc à quatre rondelles sont assez économiques, mais ils manquent de course et sont par conséquent peu efficaces. Souvent on augmente le nombre des rondelles ; alors on les place à l'intérieur du châssis, entre deux traverses, sur des tiges de choc analogues à celles que nous avons décrites pour les ressorts en acier. Cet appareil est bon, mais dispendieux.

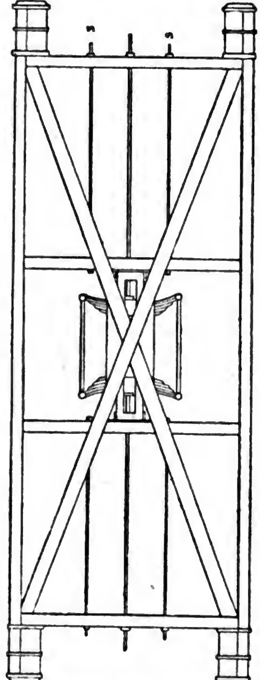


Fig. 244. Châssis de wagon à marchandises.

On a employé le caoutchouc volcanisé comme tampons de choc pour les wagons à marchandises ; il donne de bons résultats quand il est bien préparé ; mais les ressorts en acier fondu au prix actuel de l'acier ne sont pas beaucoup plus coûteux et sont plus durables.

Dans les wagons à marchandises, on supprime, sur certaines lignes, les appareils de chocs élastiques, et on les remplace par des tampons fixes formés par le prolongement des brancards (fig. 244). On rapporte sur le côté et au-dessus de ce prolongement des pièces de bois qui en augmentent la section ; on relie le tout par des frettes et des boulons, et on recouvre quelquefois l'extrémité de ces tampons d'une sorte de matelas en cuir et en crin.

Le premier établissement de ces tampons est économique; mais, comme ils sont peu ou point élastiques, les châssis qui en sont munis sont promptement disloqués par les chocs qu'ils reçoivent, surtout dans les manœuvres des trains de marchandises. *Il convient donc de placer des ressorts de choc même sur les wagons à marchandises.*

Anciennement, on employait fréquemment des châssis dits *doubles*. Ils consistaient en deux châssis superposés et séparés par des tasseaux ou par les extrémités des traverses. Ces châssis avaient l'avantage de n'exiger que des bois d'un faible équarrissage ; mais ils présentaient beaucoup d'assemblages et n'étaient durables qu'à la condition d'être consolidés par un grand nombre de ferrures coûteuses.

Dans ces derniers temps, on est revenu aux châssis doubles modifiés pour les wagons à marchandises. La figure 245 représente un châssis de ce genre construit au chemin de fer d'Orléans. Les brancards de ce châssis, composés de deux pièces qui serrent entre elles les traverses, présentent l'aspect de véritables poutres armées, et ont par cela même une grande rigidité dans le sens vertical. Les assemblages sont de simples entailles très-peu profondes ; le tout est relié par des boulons qu'on peut resserrer à volonté si les pièces prennent du jeu. Le cours de brancards supérieur est entretoisé par une croix de Saint-André. Ce châssis est léger, mais il est difficile à bien établir. Aux chemins de l'Est, on en a été peu satisfait. Il est fort coûteux d'entretien.

A une certaine époque, on cherchait beaucoup à abaisser le centre de gravité du matériel roulant des chemins de fer. Cette préoccupation des ingénieurs a fait naître un système de châssis connu sous le nom de *châssis belge*, employé et perfectionné en Allemagne.

Les châssis des voitures à voyageurs sur les chemins belges (fig. 246) se composent de deux brancards boulonnés sur quatre traverses entre lesquelles sont placées les roues qui sont extérieures aux brancards.

Les caisses, dont le fond est formé de deux cadres indépendants, reposent sur les brancards. Ces cadres, quoique faisant partie des caisses, peuvent être également considérés comme

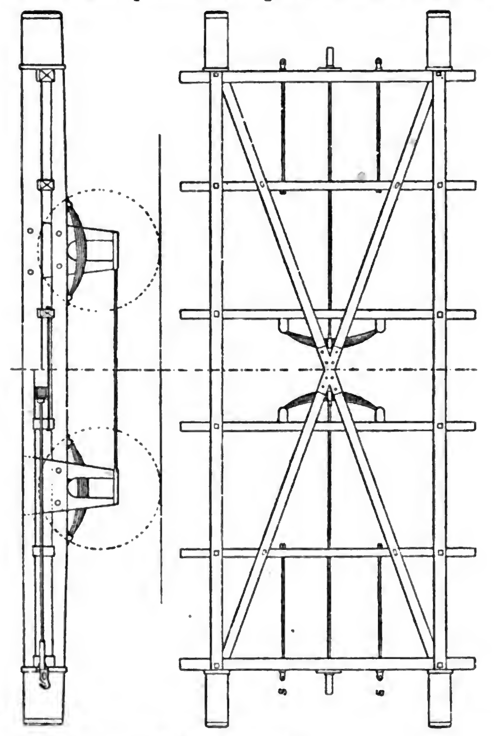


Fig. 245. *Châssis double.*

appartenant au train ou à son châssis, car ils lui sont liés invariablement et servent à guider les appareils de traction et de choc.

Les plaques de garde sont posées en dehors des roues et

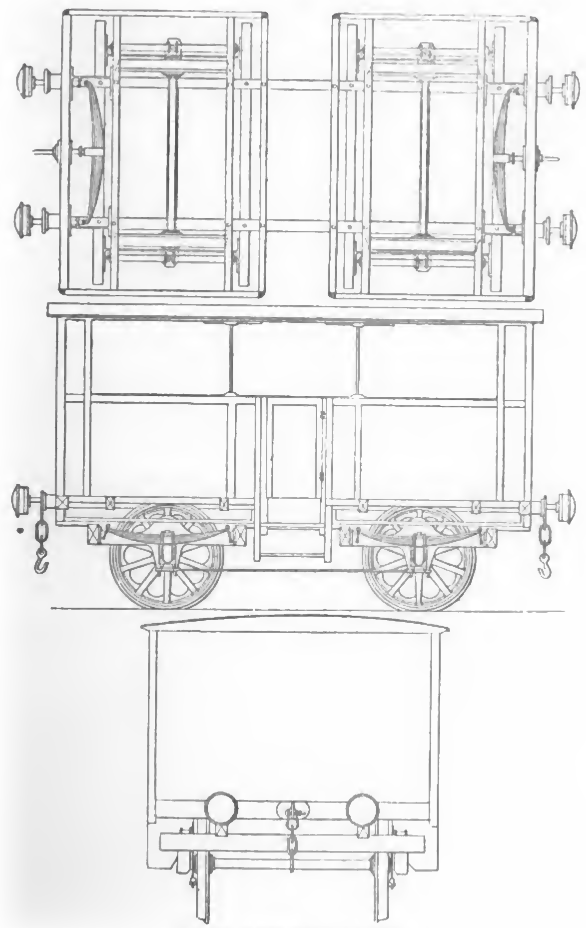


Fig. 246. *Châssis de voitures belges.*

relient les traverses l'une avec l'autre au moyen d'un double T en fer.

Sur les boîtes à graisse sont fixés les ressorts qui, reliés aux traverses au moyen de menottes en fer, supportent le châssis.

Les ressorts de choc et de traction sont placés au-dessus de la traverse extrême de chaque châssis. Les tampons sont à l'aplomb des brancards et glissent ainsi que les ressorts dans des pièces spéciales en fonte.

Le châssis belge présente plusieurs inconvénients graves : n'étant entretoisé par aucune pièce oblique, il se déforme facilement et les essieux perdent leur parallélisme.

Les brancards reposant sur les traverses à une assez grande distance des points d'appui, en reportent la charge vers le milieu et les font plier. De là une nouvelle cause de déformation.

La caisse étant fixée au châssis, les réparations deviennent difficiles et par conséquent coûteuses.

Les ressorts de choc et de traction enfin, se trouvant aux extrémités des brancards, font courber le châssis dans le sens vertical; alors les efforts de choc et de traction, n'agissant plus sur un système de ressorts indépendants du châssis, tendent à le disloquer et le fatiguent beaucoup.

Pour les voitures construites dans ces derniers temps, les ingénieurs belges ont renoncé à leur châssis et l'ont remplacé par un châssis simple, du genre de celui de Rouen.

Le châssis des voitures du chemin de fer badois a beaucoup d'analogie avec le précédent, mais il est mieux étudié. Les brancards sont munis d'une croix de Saint-André, et le châssis de caisse règne dans toute la longueur, de sorte que les longerons s'opposent à la flexion que tendent à produire les appareils de choc et de traction. Enfin, ses brancards sont plus rapprochés des points d'attache des ressorts de suspension que ceux des voitures belges.

Plaques de garde. — Les plaques de garde sont, comme nous l'avons dit, généralement découpées dans des feuilles

épaisses de tôle ; la figure 247 représente les anciennes plaques du chemin de fer de Paris à Strasbourg.

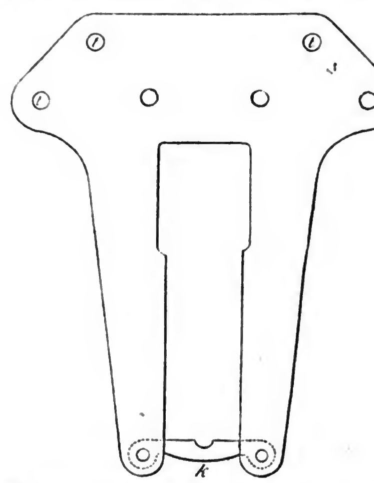


Fig. 247. *Ancienne plaque de garde du chemin de Strasbourg.*

On conçoit que la forme et la hauteur des plaques de garde varient dans des limites assez étendues, suivant la distance qui sépare le centre de l'essieu de la face inférieure du brancard. Les plaques de garde sont fixées contre les faces intérieures de ces brancards au moyen de boulons qui passent à travers les trous *t t* ; quelquefois elles sont encastrées en tout ou en partie dans l'épaisseur du bois ; d'autres fois, enfin, elles sont doubles et fixées de part et d'autre aux brancards.

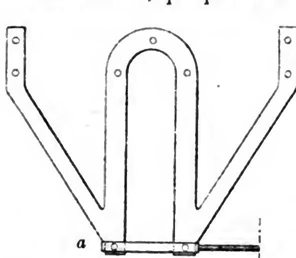


Fig. 248. *Plaque de garde en fer forgé.*

On réunit les deux branches des plaques de garde au moyen d'une petite traverse en fer qui les consolide. Généralement les deux traverses des plaques de garde d'un même côté sont venues de forge aux extrémités d'une barre de fer unique, qui relie ainsi ces deux plaques de garde *a* fig. 248.

Actuellement, on construit en Angleterre et en France beaucoup de plaques de garde en fer laminé. Ces plaques (fig. 248), bien que fabriquées en fer de bonne qualité, sont un peu moins coûteuses que celles en tôle, et, comme leurs points d'attache sur les brancards sont fort écartés, leur position par rapport au brancard est invariable.

Attelages. — Les attelages des wagons d'un même convoi, ou des tenders aux wagons, ont toujours lieu par le milieu.

On a d'abord réuni les wagons au moyen de simples chaînes, puis on a essayé des barres rigides, puis enfin on a fait usage de tendeurs.

On donne aux chaînes assez de longueur pour que la machine, quand elles sont détendues, puisse mettre en mouvement chaque wagon séparément. Il en résulte plus de facilité pour la mise en marche du convoi (démarrage); mais les voyageurs reçoivent, au moment du départ, des secousses d'autant plus désagréables que le mécanicien prend moins de précautions. Ces chocs d'ailleurs nuisent beaucoup à la conservation du matériel. On évite ces secousses en se servant de barres rigides; mais il devient difficile alors de mettre le convoi en mouvement, et le choc, en cas d'arrêt de la machine, est également violent pour tous les wagons.

Les *tendeurs*, représentés fig. 249, se composent de deux

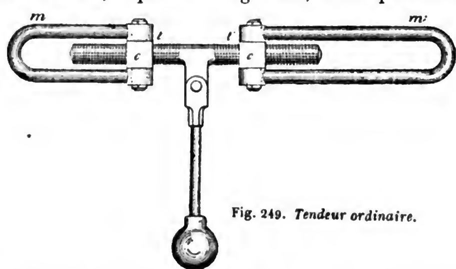


Fig. 249. *Tendeur ordinaire.*

mailles *m* et *m'*, portant des écrous *c*, *c'*. L'une des mailles est fixée à demeure dans un œil ménagé dans l'un des crochets de

traction ; l'autre s'engage dans le crochet du wagon suivant. Les deux écrous sont réunis par une tige *t* avec pas de vis en sens inverse, de telle sorte qu'en faisant tourner cette tige, on rapproche ou l'on écarte les écrous et par suite les wagons.

Les tendeurs sont employés avec les voitures à deux tampons; en formant les trains, on les serre jusqu'à ce que les tampons des voitures consécutives exercent les uns sur les autres une pression assez considérable. Cet appareil évite les secousses et diminue l'intensité des chocs; il ralentit à la vérité un peu le démarrage du train pour les premiers tours de roues; mais, en marche, il s'oppose efficacement au mouvement de lacet. (Mouvement de rotation alternatif du véhicule autour d'un axe vertical passant par le centre de figure du châssis, combiné avec le mouvement de translation du convoi.)

Quand les voitures sont montées avec soin, et les *roues jumelles* d'un diamètre parfaitement égal, ce mouvement devient, par l'usage des tendeurs, presque nul.

On s'est servi pendant quelques années pour l'attelage de tendeurs d'un nouveau modèle, dits *tendeurs Lassale,* du nom de

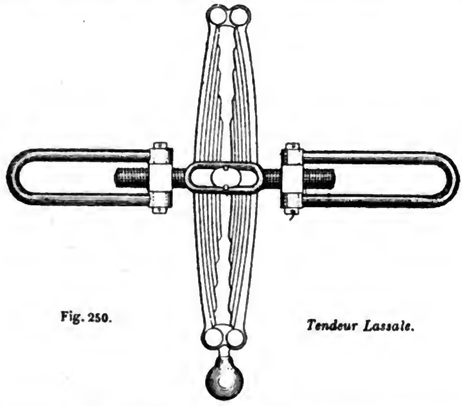


Fig. 250. *Tendeur Lassale.*

leur inventeur (fig. 250). Cet appareil ne diffère du tendeur or-

dinaire qu'en ce que la vis est en deux parties réunies par deux petits ressorts. Avec le tendeur Lassale, on peut supprimer complétement les ressorts de traction ; c'est ce qu'on a fait sur plusieurs chemins de fer. On a employé pour les wagons à marchandises, et même quelquefois pour les voitures à voyageurs, un système d'attelage qui se compose d'un tendeur à ressort pour la traction, et de tampons en caoutchouc pour le choc.

Malgré l'économie importante qui résultait de l'emploi du tendeur Lassale, on l'a abandonné sur les chemins de l'Est, parce qu'il est lourd, et que la formation des trains devenait, avec cet appareil, pénible et même dangereuse.

De part et d'autre du crochet d'attelage, à une distance d'environ $0^m,50$, on dispose ordinairement deux chaînes terminées par des crochets. Ces chaînes, dites *chaînes de sûreté*, sont d'une longueur telle, que, dans les circonstances ordinaires, elles ne sont pas tendues; mais, si le tendeur ou le crochet d'attelage vient à se casser, ou si le train reçoit un effort brusque qui brise l'appareil de traction, ces chaînes se tendent et remplacent cet appareil ou lui viennent en aide.

En Angleterre, on renonce généralement aux chaînes de sûreté, qui cèdent presque toujours quand l'attelage vient à se briser. Sur les lignes où elles ont été conservées, on n'en met plus qu'une seule, au droit du crochet de traction, parce qu'il est fort rare que les deux chaînes agissent ensemble, surtout dans les courbes.

Aujourd'hui on a remédié en partie à la rupture des chaînes de sûreté par l'addition, à l'extrémité de la tige de traction, d'une rondelle en caoutchouc qui cède sous la tension de la chaîne et par conséquent diminue l'effort brusque de traction qui se produit ordinairement lorsque les chaînes sont tendues.

Il existait aussi dans l'ancien matériel de Strasbourg à Bâle une disposition de chaînes de sûreté que l'on aurait dû conserver dans la construction des autres matériels.

Les deux chaînes de sûreté ne sont distantes l'une de

l'autre que de 20 centimètres environ. Les extrémités sont reliées comme le crochet de traction au collier du ressort de traction. Cette disposition a non-seulement l'avantage de diminuer considérablement l'effort brusque de traction, mais aussi celui de ramener tout le système de traction dans l'axe du châssis, et par conséquent de remédier à l'inconvénient actuel des chaînes de sûreté, de tirer obliquement dans les courbes lorsqu'elles remplacent l'attelage du tendeur.

Si un essieu vient à se rompre, les attelages doivent soutenir la voiture; il est donc important de les rendre assez solides pour que, dans ce cas, ils puissent résister. On conseillait anciennement de faire moins fort l'attelage de la locomotive au train, afin que celle-ci déraillant, elle ne pût entraîner tout le convoi; il en résulterait des ruptures fréquentes en marche ordinaire, et par conséquent des irrégularités dans le service.

Au chemin de fer de Rouen, on se sert, pour détacher la machine à l'arrivée, sans arrêter le convoi, d'un crochet mobile (fig. 251).

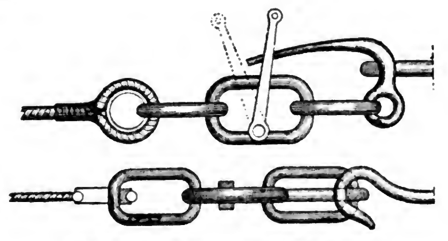


Fig. 251. *Crochet mobile du chemin de Rouen.*

Ce crochet mobile est, d'une part, engagé sur le crochet fixe d'attelage du premier wagon du convoi, et, d'autre part, il est fixé par trois anneaux à la corde au moyen de laquelle la machine traîne obliquement le convoi. Lorsque le moment est venu de séparer la machine du convoi, un ouvrier, qui tient à la main un bout de corde attaché à une chape qui sert à fixer le crochet, tire le bout de corde à lui, de manière que

la chape prenne la position indiquée en lignes ponctuées. Le crochet mobile se sépare alors du crochet d'attelage du convoi, et la machine, par conséquent, cesse de remorquer les wagons.

Au chemin de Saint-Étienne à Lyon, on emploie un autre crochet fort ingénieux, au moyen duquel on peut, le convoi étant en marche, dételer instantanément la machine. Ce crochet est manœuvré par un mécanisme qui agit aussi sur un frein que l'on serre tout en dételant la machine. Il n'a pas été adopté sur d'autres lignes parce que, en cas d'accidents, les conducteurs des trains n'ont pas la présence d'esprit nécessaire pour le faire fonctionner. C'est ce qui arrive pour presque toutes les dispositions qui ont été imaginées dans le même but.

Suspension. — Les voitures qui marchent à de grandes vitesses sur les chemins de fer sont généralement suspendues sur des ressorts; mais le mode de suspension est encore loin d'atteindre la perfection de celui de nos voitures ordinaires. Cependant, depuis l'adoption des nouveaux ressorts en acier fondu de M. Lassale, cette partie de la construction du matériel roulant a fait un progrès très-sensible.

En général les ressorts reposent sur les boîtes à graisse

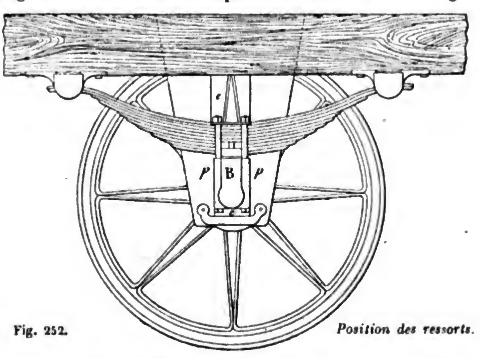


Fig. 252. *Position des ressorts.*

fig. 252); cependant ils passent quelquefois en dessous. Cette

disposition permet d'abaisser la caisse, mais elle rend difficile la visite des fusées et des boîtes à graisse.

Dans les voitures à voyageurs du chemin de fer de Rouen et dans celles de tous les chemins de fer construits depuis l'ouverture de cette ligne, le châssis est suspendu par des *menottes en cuir* à des ressorts longs et plats (fig. 253 et 254). On fait

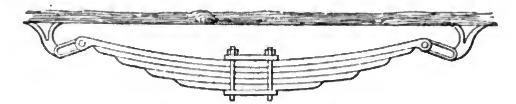


Fig. 253. *Mode de suspension.*

varier la tension des ressorts en écartant ou en rapprochant les supports de suspension au moyen d'appareils à vis dont nous représentons un spécimen (fig. 255). Antérieurement on faisait

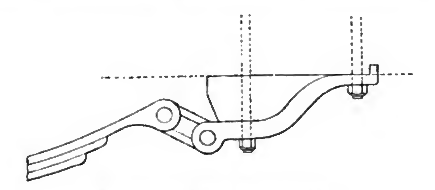


Fig. 254. *Autre mode de suspension.*

simplement reposer les extrémités des ressorts sur des sabots en fonte boulonnés sous les longerons des châssis, disposition encore usitée pour les wagons à marchandises sur plusieurs chemins de fer. Les figures 252 et 256 représentent deux autres modes de suspension des wagons à marchandises qui ont été employés sur le chemin de fer de Paris à Strasbourg : le premier consiste en une menotte en fer; le second se compose de *mains* en fer qui appuient sur les extrémités des ressorts. En serrant ou desserrant l'écrou *e*, on parvenait à régler la hauteur des tampons; aujourd'hui on préfère se servir de cales en bois pour cet usage et ces appareils sont abandonnés. Les

appareils tendeurs pour ressorts de suspension conviennent

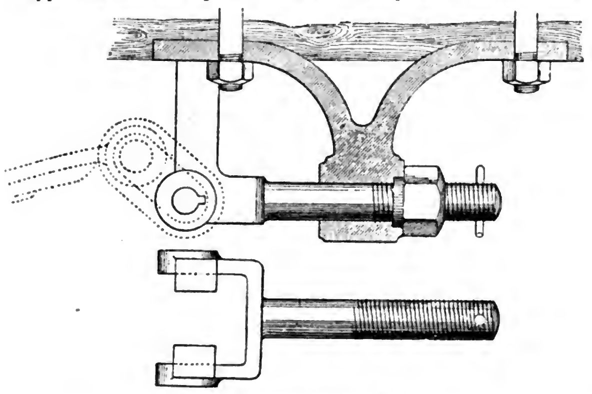


Fig. 255. *Support avec vis de rappel.*

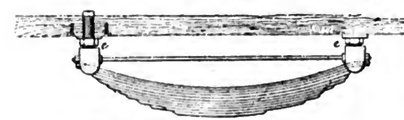


Fig. 256. *Support avec vis de pression.*

très-bien aux voitures à voyageurs, en ce qu'ils permettent de donner aux ressorts une tension initiale considérable qui diminue l'amplitude des oscillations, et rend ainsi le mouvement plus doux.

On faisait jusque dans ces derniers temps les ressorts de wagons en acier cémenté; M. Lassale a introduit dans leur fabrication l'acier fondu que son élasticité, son homogénéité et sa résistance à la rupture paraissent rendre supérieur à l'acier cémenté pour cet usage.

Quelques ingénieurs, cependant, persistent à employer l'acier cémenté[1].

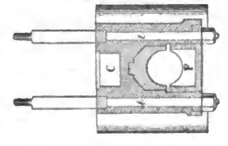
Les ressorts de suspension, pour être doux, doivent être longs et plats ; ceux de choc et de traction, au contraire, doi-

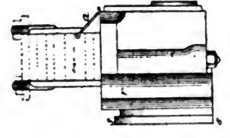
1. Voir le savant mémoire de M. Philipps sur l'emploi des ressorts en acier. (*Annales des mines*, année 1852.)

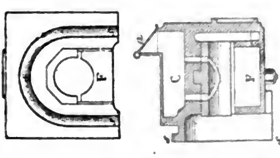
vent, pour résister convenablement aux violentes secousses auxquelles ils sont soumis, être fortement cintrés.

En leur milieu ils sont fixés dans une bride munie d'un renflement cylindrique dans lequel l'extrémité de la tige de traction est assemblée au moyen d'une clavette.

Boites à graisse. — La figure 257 représente en plans, coupes et élévations la boîte à graisse des wagons du chemin de fer de Paris à Strasbourg. Elle se compose de quatre parties : le *corps de la boîte*, le *coussinet*, le *fond* et le *couvercle*.







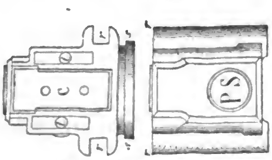


Fig. 257. *Boites à graisse.*

Le corps en fonte est de forme à peu près prismatique. Il porte latéralement en *r r* deux rainures dans lesquelles se logent les deux branches de la plaque de garde. La saillie en fer-à-cheval *s s* ne sert, comme nous le verrons plus loin, que dans les wagons à frein. La cavité C contient la graisse destinée à lubréfier la fusée; elle est fermée à sa partie supérieure par un *couvercle* en tôle dont la partie *a*, assemblée à charnière, permet de renouveler la graisse. Celle-ci est composée de matières grasses plus ou moins fluides suivant la saison, et saponifiées partiellement par l'adjonction d'une certaine quantité de soude ; elle arrive sur la fusée par deux trous percés dans la boîte et dans le *coussinet* en bronze.

Le coussinet se fait généralement en bronze, composé de 82 parties de cuivre et 18 parties d'étain. On a employé des coussinets composés d'un alliage différant peu du métal de caractères d'imprimerie, et auquel on avait donné le nom assez impropre de métal *antifriction*. Cet alliage, au bout de peu de temps, était écrasé par le poids de la caisse, et le frottement alors augmentait au lieu de diminuer. On a aussi essayé, mais sans succès, de doubler les coussinets usés avec cet alliage.

Le fond F de la boîte est en fonte ; il reçoit la graisse qui tombe de la fusée après s'être fondue, et empêche les matières étrangères entraînées par le passage du train de venir s'attacher à la fusée.

Le fond est réuni au corps de la boîte par deux *boulons* à brides qui passent dans les trous *t t*. Ces *brides* servent en même temps à fixer la boîte sous le ressort ; à cet effet les quatre branches sont réunies à leur partie supérieure au moyen d'une *platine* ou *entretoise* en fer *p p* sur laquelle s'appuient les écrous de ces branches.

Anciennement les boîtes à graisse étaient ajustées avec soin dans les plaques de garde ; actuellement on leur donne au contraire du jeu dans tous les sens. Cette disposition facilite le passage dans les courbes, et est du reste économique. On a remarqué qu'en marche les boîtes *flottaient* entre les branches des plaques de garde.

Au chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, on a employé pendant longtemps un système de graissage à l'huile dans lequel la matière grasse était contenue dans le fond de la boîte.

Un petit cylindre à tourillons, placé sous la fusée et constamment appliqué contre cette fusée au moyen d'un ressort partant de bas en haut sur les coussinets qui portent les tourillons, plongeait par sa partie inférieure dans l'huile. Quand la fusée tournait, elle imprimait un mouvement de rotation au cylindre qui entraînait avec lui une certaine quantité

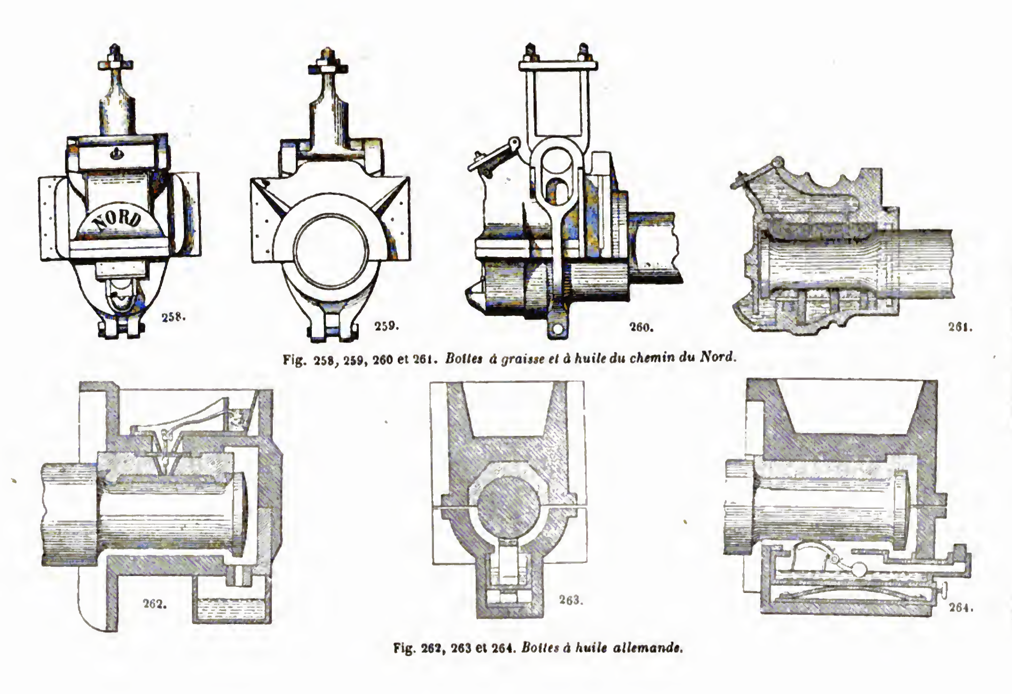


Fig. 258, 259, 260 et 261. *Boîtes à graisse et à huile du chemin du Nord.*

Fig. 262, 263 et 264. *Boîtes à huile allemande.*

d'huile; la fusée était ainsi enduite d'huile sans cesse renouvelée. Ce mode de graissage qui donnait d'assez bons résultats vient d'être abandonné, parce que, n'étant pas appliqué à tous les véhicules de cette ligne, il exigeait des appareils et des approvisionnements spéciaux.

La graisse a cependant l'inconvénient grave de se durcir dans les temps de gelée, ce qui rend le graissage extrêmement difficile. Au chemin du Nord on vient d'entreprendre des expériences dans le but de la remplacer par de l'huile. Les figures 258, 259, 260 et 261 représentent la boîte employée. L'huile y est placée dans un réservoir inférieur et aspirée par des mèches qui la portent sur une espèce de coussin en peau d'agneau appliqué contre la fusée. Ce coussin est pressé de bas en haut par des ressorts à boudin.

Sur les chemins allemands on a employé la boîte (fig. 262 et 263) dans laquelle l'huile est placée dans un réservoir supérieur et aspirée par des mèches faisant effet de siphon. On s'est servi aussi de la boîte (fig. 264) où l'huile est contenue dans un réservoir inférieur, d'où elle est portée sur la fusée par une mèche soulevée par un contre-poids.

Le coussinet de la première boîte est en bois dur.

Roues. — Les roues des wagons ne sont pas semblables à celles des voitures ordinaires qui ne seraient pas assez solides et coûteraient très-cher d'entretien.

Elles sont entièrement en fonte et fer, quelquefois en bois; leur diamètre varie de $0^{m},90$ à 1 mètre.

Les roues tout en fonte ne sont plus employées en Europe, à cause de leur grande fragilité, que pour les wagons marchant à de faibles vitesses; pour les wagons de terrassement, par exemple. En Amérique les roues en fonte sont encore très-répandues, même pour les voitures à voyageurs. Ces roues (fig. 265) doivent être coulées en coquille, c'est-à-dire dans un moule en métal, et non dans un moule en sable.

Le pourtour de la roue se refroidissant alors rapidement par

le contact des parois métalliques du moule, subit une espèce de trempe et acquiert une dureté qui lui est nécessaire pour résister au frottement sur les rails.

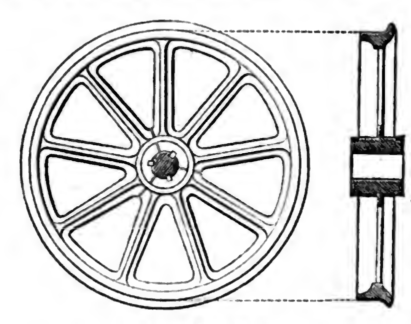


Fig. 265. *Roues en fonte.*

On ménage, dans le moyeu, des fentes afin que le retrait des rais et du moyeu qui sont coulés en sable et se refroidissent plus lentement que le pourtour, puisse s'opérer sans donner lieu à des tensions qui feraient rompre la roue à sa mise en service. On remplit ces fentes avec des cales en fer, et l'on *frette* le moyeu à l'aide de deux cercles posés à chaud. Ces cercles, en se refroidissant, se contractent et exercent sur les secteurs du moyeu un serrage énergique.

Les roues qui composent le matériel définitif sur un chemin à grande vitesse sont, à de rares exceptions près, toutes cerclées en fer.

Tantôt le moyeu, les rais et le cercle sur lequel est posé le bandage en fer, sont en fonte, coulés d'une seule pièce, comme dans la roue fig. 266; tantôt le moyeu seul est en fonte, les rais et le cercle sont en fer (fig. 267).

Ce dernier genre de roues est maintenant exclusivement en usage pour les wagons à voyageurs; le premier est encore employé pour wagons à marchandises sur quelques lignes belges et anglaises.

La différence de prix en faveur des roues à rais en fonte nous paraît trop faible pour justifier leur emploi, même pour les wagons à marchandises. Leur fragilité expose à des accidents

que l'on n'a pas à redouter avec celles à rais en fer. Qu'un déraillement ait lieu, ou même qu'un essieu vienne à casser, sans qu'il y ait déraillement, les roues à rais en fonte se rompront très-probablement, lorsqu'au contraire celles à rais en fer résisteront. Des vices trop fréquents dans la fonte, une clavette trop fortement serrée, un cercle posé trop chaud, un bandage posé ou enlevé sans précaution, ou simplement trop usé, sont autant de causes de rupture qui ont pour conséquence la perte de la roue tout entière.

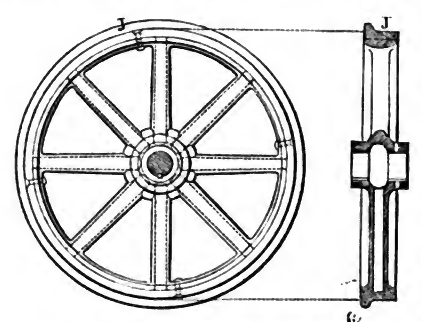


Fig. 266. *Roue en fonte avec bandage en fer.*

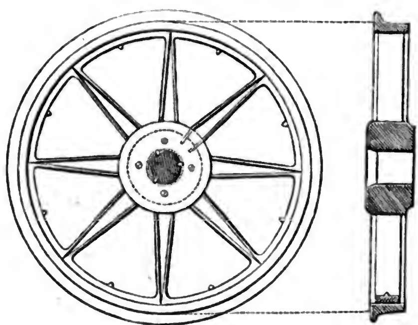


Fig. 267. *Roue en fer avec moyeu en fonte.*

La roue représentée fig. 266 est employée sur le chemin de Londres à Birmingham, pour les wagons à marchandises; les rais en sont ronds et creux. D'autres fois les rais sont plats et à nervures.

Les roues à rais en fer (fig. 267) se composent de bandes de fer plat, recourbées autour de mandrins en fonte, de

manière à former des triangles ou des pentagones. Les deux extrémités de ces barres sont noyées dans le moyeu en fonte. Quelquefois on entoure les rais d'un cercle intermédiaire appelé *faux cercle* ou *faux bandage*. Le but du faux cercle est de donner à la roue la même rigidité sur tout son pourtour ; on a atteint le même but au chemin de fer de Paris à Strasbourg, en soudant dans les angles de petits coins en fer.

Les roues en fer à moyeu en fonte périssent généralement parce que le moyeu se fend, ou parce que les rayons prennent du jeu dans ce moyeu. On commence maintenant à construire des roues de wagons entièrement en fer, dont le moyeu se compose de secteurs venus de forge au bout des bras (fig. 268), soudés ensemble par une compression énergique, agissant tout autour de la roue, de la circonférence vers le centre.

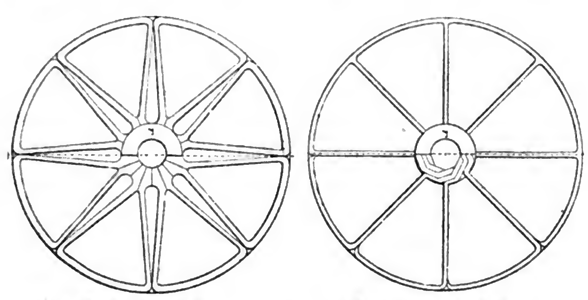


Fig. 268. *Roue en fer.* Fig. 269. *Autre roue en fer.*

D'autres fois on forme le moyeu en contournant les extrémités des rayons (fig. 269), et on le soude en chassant un mandrin dans le vide du milieu. Dans l'un et dans l'autre cas on consolide le moyeu en soudant, sur ses deux faces planes, deux rondelles de fer r (fig. 268 et 269). Ces roues sont sensiblement plus légères que celles dont les moyeux sont en fonte ; aussi ne coûtent-elles pas beaucoup plus cher.

En Angleterre et en Allemagne, on emploie avec succès des roues composées de secteurs en bois (fig. 270), emmanchés sur un moyeu en fonte, et formant un disque plein. Le bandage en fer est posé à chaud sur ces roues, et, en se refroidissant, exerce sur les secteurs un serrage énergique qui consolide le tout. Il paraît que les roues en bois sont favorables à la conservation des bandages.

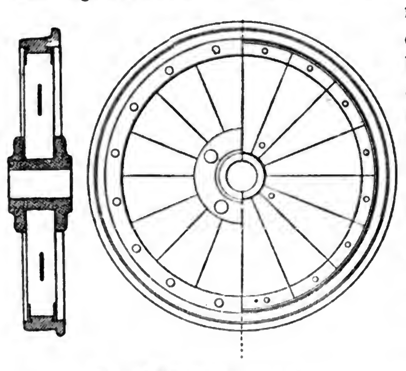


Fig. 270. *Roue en fer, fonte et bois.*

En France, on a obtenu de très-bons résultats de roues en fer, sur lesquelles le bandage était fixé par l'intermédiaire de cales en bois jointives chassées avec force et lardées de broches en fer qui produisaient un serrage énergique. Nous avons représenté dans la figure 271 la coupe d'un calage en bois de ce genre, imaginé par M. Stehelin; le bandage est muni d'un rebord *r*, sur lequel viennent s'appuyer la jante *j* de la roue et le cercle *c* en fer, dont la section est suffisamment indiquée par la figure. Les cales en bois étant chassées entre le bandage et la jante, elles se fendent sur le cercle *c*; on finit de leur donner du serrage en les lardant de broches *b* en fer.

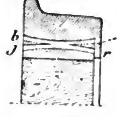


Fig. 271.
Mode de calage.

Bandages. — Le bandage est le cercle à rebord sur lequel s'opère le roulement. Il est posé à chaud sur la roue, de manière à en serrer fortement le pourtour en se refroidissant; puis il est fixé au moyen de rivets, de boulons ou de vis qui

ne traversent pas toute l'épaisseur du bandage et dont la tête se trouve à l'intérieur de la couronne formée par les rais. C'est la première de ces dispositions qui a prévalu presque exclusivement pour les roues de wagons; la seconde est employée assez fréquemment pour les roues de locomotives; la troisième est à peu près complétement abandonnée, parce qu'elle ne présente pas toute la sécurité désirable.

La surface extérieure du bandage est dressée au tour; elle se compose du *bourrelet b* (fig. 272), raccordé par un congé avec une surface conique dont l'inclinaison est ordinairement de $\frac{1}{20}$[1]. Généralement cette partie du bandage est tournée suivant une seconde surface conique dont l'inclinaison est de $\frac{3}{20}$.

Fig. 272. *Bandage.*

Cette disposition diminue un peu le poids du bandage sans en altérer la solidité; elle est du reste avantageuse, parce que les bandages, en s'usant, se creusent en forme de gorge. Les oscillations de la roue sur la voie refoulent alors le métal du côté extérieur, et le bandage cesse d'être conique. Le chanfrein

1. Cette conicité du bandage est nécessaire. Dans les courbes, le wagon étant poussé par la force centrifuge contre la file de rails extérieure, le point de contact des roues qui reposent sur cette file de rails se rapproche du bourrelet, tandis que celui des roues qui portent sur la file de rails intérieure s'en éloigne. Il en résulte que les premières, pour chaque tour, font plus de chemin que les dernières, ce qui doit avoir lieu pour qu'il n'y ait pas un glissement provenant de la fixité des roues sur les essieux.

En ligne droite, les deux files de rails sont d'égale longueur. Il faut donc, pour que les deux roues jumelles roulent et ne glissent pas, que le contact des roues avec les rails ait lieu suivant des cercles du même diamètre. Si, par une cause quelconque, l'essieu s'écarte de cette position, le bourrelet de l'une des roues se rapproche du rail et l'autre s'en écarte. Les roues faisant alors des chemins différents, le wagon tourne sur lui-même de façon que le bourrelet de la roue qui s'était rapproché du rail s'en éloigne tandis que celui de la roue jumelle s'en rapproche. Le wagon revient ainsi à sa position d'équilibre; mais, comme il y revient avec une certaine vitesse acquise, il la dépasse et un instant après tourne en sens contraire. Ce mouvement de rotation combiné avec le mouvement de translation produit le mouvement sinueux auquel on a donné le nom de mouvement de lacet. Le mouvement de lacet fatigue les voyageurs et le matériel, mais il empêche le frottement latéral des roues contre les rails, frottement qui aurait lieu avec des roues cylindriques et dont les effets seraient encore plus fâcheux. Différentes causes contribuent à l'augmenter, comme, par exemple, l'usure inégale des roues, la tension inégale des ressorts, etc.

incliné aux $\frac{3}{20}$ a pour effet de retarder ce refoulement de la matière qui compose le bandage.

En Amérique, où les courbes de chemins de fer ont souvent de très-petits rayons, on a porté la conicité des roues jusqu'à $\frac{1}{7}$.

Essieux. — La figure 273 représente un essieu de wagon du modèle le plus généralement adopté aujourd'hui.

La partie *ab*, tournée avec soin et polie dans toute sa longueur, est la *fusée* sur laquelle repose la boîte à graisse; le moyeu de la roue, alézé exactement au diamètre de la partie tournée *bc*, est emmanché sur cette partie au moyen d'une presse hydraulique. Une clavette en acier, logée à moitié dans l'essieu, à moitié dans le moyeu, empêche la roue de tourner sur l'essieu. Entre les points *c c*, l'essieu se compose de deux cônes tronqués dont les deux petites bases sont raccordées par un cylindre.

Fig. 273. *Essieu de wagon.*

Ces différentes surfaces de l'essieu sont, ainsi qu'on le voit, raccordées par des congés. Il est important d'éviter toute entaille à angle vif.

La rupture d'un essieu de wagon n'occasionne presque jamais d'accident. La caisse, lors même qu'elle n'est plus soutenue par les quatre roues, étant pour ainsi dire suspendue par les chaînes d'attelage aux voitures voisines, est maintenue dans la voie et guidée par ces voitures. Des centaines d'essieux se sont cassés sur le chemin de Strasbourg à Bâle et sur d'autres chemins, sans que les voyageurs aient été exposés au moindre danger. Mais, si la déplorable catastrophe du 8 mai 1842 a offert un épouvantable exemple des conséquences du bris d'un essieu de locomotive, dans certaines circonstances extraordinaires, le grave accident survenu, il y a quelques années, sur le chemin d'Anvers, a prouvé que celles du bris d'un essieu de wagon pouvaient aussi, par suite de la réunion fortuite de certaines circonstances, devenir terribles.

Il ne sera donc pas hors de propos de résumer ici quelques observations importantes, faites par M. Polonceau, au chemin de Bâle à Strasbourg, sur ce sujet.

Un grand nombre d'essieux devant être remplacés par des essieux d'un nouveau modèle, on les brisa à coups de mouton.

La rupture eut lieu constamment contre la face intérieure du moyeu. La cassure était sensiblement plane, soit que l'essieu se fût cassé en service, soit qu'on l'eût brisé à coups de mouton. Le grain, très-fin comme celui de l'acier dans les zones A B (fig. 274), allait en grossissant vers la zone C, puis devenait absolument semblable à celui du corps de l'essieu où le fer avait conservé sa texture primitive. La couleur brune de rouille dans la zone A, comme celle de très-vieilles cassures, devenait graduellement moins foncée vers la zone B, jusqu'à ce qu'elle disparût entièrement dans la zone C. Les cercles enfin qui enveloppaient les zones B et C n'étaient pas concentriques, mais tous tangents en D au fond de l'entaille où se trouvait la clavette.

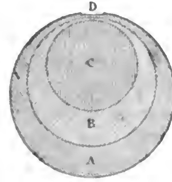


Fig. 274.

Ces faits ont été observés sur un très-grand nombre d'essieux qui avaient fait un long service, fabriqués d'ailleurs avec des qualités de fer très-différentes : du fer très-nerveux et bien homogène, des fers fabriqués avec des rognures de tôle à texture lamellaire, et du fer cassant à gros grains.

L'oxydation de la cassure dénote assez la préexistence d'une fente qui s'est successivement agrandie jusqu'au moment de la rupture. Que ce genre d'altération tienne en partie à l'ancien usage de couper les essieux à angle vif contre le moyeu, cela paraît incontestable ; toujours est-il qu'on ne l'évite pas complétement en substituant un congé à cet angle. Des essieux qui, dans l'origine, avaient été exécutés au chemin de Bâle à Strasbourg avec des congés aux angles, ont été cassés au mouton après deux ou trois ans d'usage. Ils se sont brisés comme ceux qui présentaient des angles vifs à l'extrémité du congé, et la

cassure avait un aspect analogue à celui des essieux du premier modèle. Quelques-uns, étant d'excellent fer, ont supporté, avant de se rompre, jusqu'à quatre coups d'un mouton de 600 kilogrammes, qu'on laissait tomber d'une hauteur de 5 mètres, tantôt sur un côté, tantôt sur l'autre.

Un grand nombre d'ingénieurs attribuent les ruptures dont nous venons de parler à un changement de texture du fer qui, de nerveux, passerait à l'état de fer à grains ou à facettes, par l'effet de vibrations répétées. Cette opinion, assez généralement admise autrefois, est combattue aujourd'hui par la plupart des personnes les plus compétentes.

Il est reconnu que le changement d'état moléculaire du fer dont nous venons de parler a lieu quand ce fer est soumis à une température élevée pendant un temps suffisamment prolongé, ou à un écrouissage à froid au marteau, ou encore à un taraudage, opérations dans lesquelles le fer subit une déformation violente et persistante. Mais les flexions que prend un essieu pendant sa marche sont tellement faibles, qu'il est difficile d'admettre que leur effet soit le même que celui du martelage ou du taraudage.

Les ruptures des essieux s'expliquent du reste d'une manière fort simple, sans qu'il soit nécessaire d'admettre une modification dans la texture du fer.

On recherche généralement, dans la construction des essieux, les qualités de fer connues sous le nom de fer *fort* et *dur*. Ce fer résiste à des efforts très-considérables, mais il ne s'allonge que d'une faible quantité avant de se rompre. Or, toutes les fois qu'une barre de fer fléchit, une partie de ses fibres s'allongent; les flexions que subissent les essieux pendant la marche, et qui sont dues au poids qui repose sur leurs fusées, et surtout aux chocs qu'éprouvent les roues au passage des joints et quand leurs rebords viennent à rencontrer les rails, se traduisent donc en un nombre infini d'allongements qui, s'ils sont suffisamment grands, provoquent la rupture des fibres extérieures, et, de proche en proche, de toute la section

de l'essieu. D'après cela, c'est en limitant l'allongement que l'on éviterait les ruptures d'essieux; en d'autres termes, il faudrait augmenter leur section, afin de rendre leur flexion aussi faible que possible.

En effet, sur les lignes nouvellement construites, on a donné aux essieux des dimensions beaucoup plus fortes que celles des essieux du chemin de Strasbourg à Bâle, et, par ce moyen, les ruptures ont été évitées complétement.

Les boîtes à graisse reposent sur les essieux, tantôt entre les roues, auquel cas l'essieu se termine à ras du moyeu; tantôt en dehors des roues (fig. 275), l'essieu traverse alors le moyeu et se prolonge au dehors.

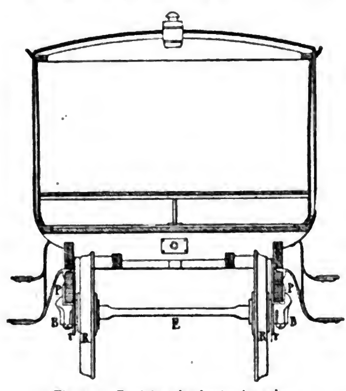


Fig. 275. *Position des boîtes à graisse.*

Lorsque les boîtes portent en dedans des roues, on est obligé de donner aux fusées une grande épaisseur, car l'essieu, aux points où elles se trouvent alors placées, doit résister, non-seulement à la pression de la charge qu'ils supportent, mais encore à toutes les pressions latérales du bourrelet des roues contre des rails, lesquelles tendent à les renverser en brisant les essieux justement aux points où se trouvent les fusées.

Quand on place au contraire les boîtes au dehors (comme fig. 275), on peut diminuer le diamètre de la fusée, et l'on réduit ainsi, comme l'enseigne l'étude de la mécanique, le *travail du frottement* qui constitue la partie la plus importante de la résistance des wagons.

Les fusées intérieures ne sont plus guère usitées que pour les wagons de terrassement. Nous traiterons du reste la question des fusées extérieures et intérieures avec plus de développements, en nous occupant des locomotives à châssis extérieurs et intérieurs.

On ne saurait attacher une trop grande importance à une bonne disposition des fusées et des boîtes à graisse.

Dans un wagon qui roule sur un chemin de fer bien entretenu, la principale résistance ne s'exerce pas au pourtour de la roue, comme dans les voitures ordinaires, mais bien tangentiellement à la fusée.

L'*intensité* de ce *frottement* ne dépend en théorie que de la pression supportée par la fusée ; en pratique, le poli et la nature des surfaces en contact et la matière grasse interposée influent beaucoup sur cette résistance, ainsi que le plus ou moins de soins apportés dans le montage de l'appareil. Il dépend même jusqu'à un certain point de l'étendue de la surface frottante et diminue quand cette surface augmente[1].

Caisses. — La forme des caisses, avons-nous dit, varie suivant l'usage auquel on destine le wagon. Nous allons passer rapidement en revue les principales dispositions que présentent ces appareils.

Les wagons diffèrent entre eux, surtout en ce qui concerne la forme des caisses, suivant l'usage auquel ils sont destinés.

On distingue :

1° Les wagons de terrassement;

2° Les wagons d'ensablement ;

3° Les wagons pour le transport de la houille ;

4° Les wagons pour le transport des marchandises;

5° Les wagons pour le transport des voitures de rouliers et des voitures ordinaires montées sur leurs roues;

6° Les wagons pour le transport des caisses de diligences ;

7° Les wagons pour le transport des bestiaux;

1. Voir plus loin la théorie de la résistance des wagons.

8° Les wagons pour le transport des moutons ;
9° Les wagons pour le transport du lait;
10° Les wagons pour le transport des chevaux;
11° Les wagons pour le transport des bagages ;
12° Les wagons pour le transport des grandes pièces de bois;
13° Les wagons pour le transport des dépêches ;
14° Les wagons pour le transport des voyageurs.

Il convient de simplifier le matériel des chemins de fer en réduisant autant que possible le nombre des différentes espèces de wagons. Aux chemins de l'Est, dans le principe, ce nombre était considérable. Aujourd'hui, abstraction faite d'une certaine quantité d'anciens wagons dont le modèle est abandonné, on n'emploie plus pour l'exploitation que les suivants :

Les wagons avec grandes plates-formes à rebords servant au transport des métaux, des pierres, des bois de construction et de chauffage, des cotons en balles, etc.;

Les wagons couverts portant les bois de chauffage, les farines, les graines et toute espèce de marchandises qui ne pourraient pas être chargées commodément sur les autres. Ces wagons servent aussi au transport des bestiaux ;

Les wagons à vigie et à frein servant de fourgons ;

Les wagons à caisse construits pour le transport de la houille, et pouvant servir à d'autres transports ;

Les wagons à trappes spécialement destinés au transport des houilles ;

Les wagons pour le transport des moutons ;

Les wagons pour le transport du lait ;

Les wagons pour le transport des bois ;

Les wagons pour le transport des dépêches ;

Les wagons pour le transport des voyageurs.

Nous avons déjà décrit les wagons de terrassement, p. 327 et 328 du 1er volume; nous ajouterons quelques lignes à cette description.

Le mode de construction pour les wagons de terrassement est le plus simple ou, s'il nous est permis d'employer cette ex-

pression, *le plus rustique*. Si les wagons de terrassement étaient d'un mode de construction trop délicat, non-seulement le prix en serait élevé, mais encore l'entretien sur les chantiers en deviendrait difficile et coûteux. C'est au charpentier plutôt qu'au carrossier qu'on doit confier l'exécution de ce genre de véhicules.

La capacité des wagons de terrassement dépend de l'importance du travail auquel ils sont destinés et de la distance qu'ils doivent parcourir. Il faut les établir plus ou moins solidement selon le temps pendant lequel on présume en faire usage et les circonstances dans lesquelles on se propose de les employer.

Les wagons conduits par des chevaux à de petites vitesses doivent être plus légers que ceux que l'on mène à grande vitesse avec des machines locomotives. Il serait au contraire peu prudent de se servir de wagons légers et faibles sur des plans inclinés où ils sont exposés à des chocs violents, ou dans les tranchées profondes, quand on peut se trouver obligé de jeter les déblais dans le wagon d'une assez grande hauteur.

La figure 16, page 327 du 1[er] volume, représente l'ancien wagon de terrassement anglais qui a été employé sur les chemins de Saint-Germain et de Versailles. La figure 17, un wagon plus simple de construction, dont la caisse bascule sur l'essieu de devant et dont on fait usage aujourd'hui sur la plupart des chantiers de terrassement.

Dans les wagons du premier modèle la porte, au moment où la caisse basculait, se développait de manière à se trouver dans le même plan que le fond, en sorte que les terres étaient projetées à une certaine distance. L'emploi de ces portes nécessitant des ferrures assez coûteuses, on les a remplacées par une simple paroi mobile qui se déplace comme la porte d'un tombereau.

Dans les anciens wagons de terrassement la caisse portait sur l'essieu en dehors des roues; dans les nouveaux, elle porte en dedans ; les roues de ces anciens wagons n'avaient que 50 centimètres de diamètre, celles des wagons actuels ont au moins 75 centimètres.

Les caisses des anciens wagons de terrassement ne portaient que 1^m,50 comptés au déblai. Aujourd'hui, sur les chantiers de terrassement des chemins de l'Est, on se sert de trois espèces de wagons de terrassement : le wagon anglais petit modèle (fig. 276) ne porte que 1^m,50 ou 1^m,75 de terre ordinaire mesurée au déblai ; le même wagon grand modèle porte 3^m,10. Le wagon belge contient 3^m,30. La caisse de ce dernier ne tourne pas sur un des essieux comme dans les wagons anglais, mais sur un tourillon en bois, et le wagon est disposé de telle façon qu'on peut à volonté le faire basculer sur le devant ou sur le côté.

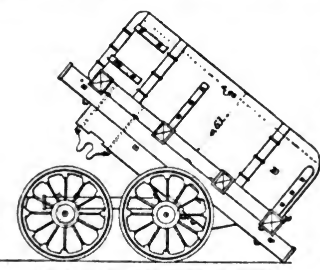


Fig. 276. *Wagon anglais petit modèle.*

Le wagon anglais du grand modèle (fig. 277) coûte 700 fr., le wagon belge 900 fr.

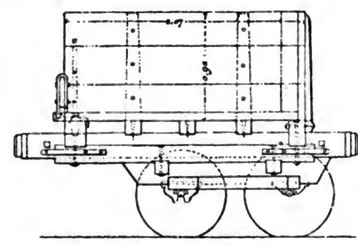


Fig. 277. *Wagon anglais grand modèle.*

On fait depuis quelques années usage, dans l'exécution des grands travaux de terrassement, de petits wagons-brouettes ou camions qui dans beaucoup de cas remplacent avantageusement les tombereaux et opèrent les transports à des prix sensiblement équivalents.

Dans certaines circonstances, et notamment quand les inclinaisons sont faibles et que les distances commencent à être trop grandes pour des brouettes, ils peuvent être employés avec avantage et faire réaliser une économie notable.

Ces petits véhicules (fig. 278 et 279), qui pèsent moyennement

115 kilogrammes, sont composés d'une caisse, d'un châssis auquel est adaptée une flèche et d'une paire de roues en fonte. La contenance de ces wagonnets, y compris le couplet, est d'en-

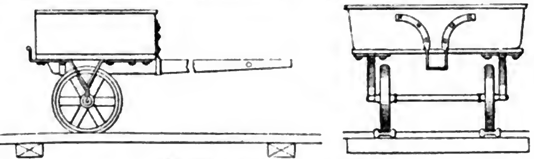


Fig. 278 et 279. *Wagon-brouette.*

viron $0^m,28$, cubes, mais eu égard au foisonnement, elles ne contiennent guère que de $0^m,16$ à $0^m,22$, mesurés au déblai suivant la nature du terrain.

Dans les wagons pour l'entretien de la chaussée, le sable est simplement chargé à la pelle dans une caisse rectangulaire à parois de $0^m,15$ à $0^m,30$ de hauteur. Tantôt ces parois sont fixes, tantôt elles peuvent se rabattre autour de charnières.

Le fond de la caisse est formé de traverses boulonnées sur les brancards du châssis et recouvertes de planches placées en long. On décharge le sable à la pelle; quelquefois cependant on ménage dans les planches une ou deux ouvertures fermées au moyen de trappes et par lesquelles le sable tombe entre les rails.

On transporte dans ces mêmes wagons la houille en gros morceaux. On les charge alors avec soin à la main et on les décharge de même. On y charge aussi certaines espèces de marchandises.

Souvent on munit les rebords des caisses d'anneaux et de crochets qui servent à fixer les bâches au moyen desquelles on préserve les marchandises de l'humidité et des flammèches des machines.

Aux chemins de fer de l'Est on emploie simultanément des bâches en toile et des bâches en bourre de soie. Les unes et les autres sont recouvertes d'une préparation qui est connue sous le nom d'enduit Gagin et dont la base est le caoutchouc.

Les bâches en toile, quand la toile est bien fabriquée, sont moins volumineuses et moins lourdes que celles en bourre de soie. Ces dernières, plus souples avant d'être enduites, le deviennent moins après l'opération, ce qui paraît tenir à ce qu'elles absorbent une plus grande quantité d'enduit. Les bâches en toile sembleraient donc préférables.

Les opinions à cet égard sont cependant encore assez partagées. C'est une dépense importante de l'exploitation d'un chemin de fer que celle des bâches; on ne saurait donc apporter trop de soins dans le choix qu'on en fait.

Pour la houille menue, on s'est servi de caisses pyramidales (fig. 280). Ces caisses se vident au moyen de trappes qui

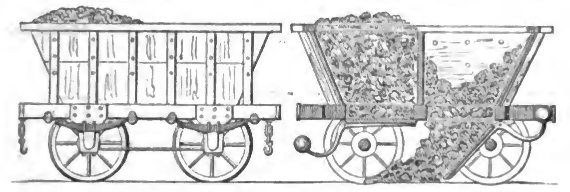


Fig. 280. *Wagons à houille.*

s'ouvrent dans le fond entre les deux essieux. Quelquefois on dispose ces caisses de manière qu'elles puissent être enlevées facilement de dessus le châssis et chargées sur un train ordinaire.

Aujourd'hui on abandonne les wagons à caisse trapézoïdale, parce qu'on n'y peut charger au retour qu'un très-petit nombre d'objets. On fait usage plus volontiers de wagons à caisses rectangulaires.

Les wagons à houille et en général les wagons à marchandises ne portaient anciennement que cinq tonnes. On en a, depuis trois ans, doublé la charge, et de cette manière on a réduit considérablement le rapport du poids mort au poids utile.

Ainsi ce rapport qui, dans les anciens wagons, était de $\frac{4500}{5000}=0,90$, n'est plus, dans les nouveaux, que de $\frac{4730}{10000}=0,47$.

On transporte les voitures de rouliers sur de grandes plates-formes appelées *maringottes*. On charge ces voitures au moyen d'une grue après en avoir retiré les roues, et on les fixe avec des cordes qui passent dans des anneaux placés aux extrémités des traverses qui composent la plate-forme. Souvent aussi on les bâche.

Les chaises de poste sont transportées sur leurs roues et maintenues au moyen de cales et de courroies qui retiennent les roues. Les plates-formes qui sont destinées à ce genre de transport sont ordinairement munies d'un rebord qui, pour les deux petits côtés, peut se rabattre sur le quai de chargement et de déchargement.

Les caisses de diligences sont enlevées de leurs trains au

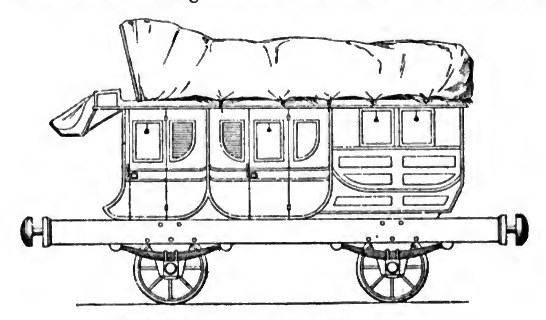


Fig. 281. *Wagon plate-forme pour diligences.*

moyen d'une grue fort ingénieuse de l'invention de M. Arnoux et placées sur un wagon plate-forme (fig. 281) d'une construction toute particulière.

Aujourd'hui que les chemins de fer ont pris une grande extension, le transport des caisses de diligences a perdu beaucoup de son importance. On y a même, sur la plupart des grandes lignes, entièrement renoncé.

Les bestiaux sont transportés dans de grandes caisses à panneaux percés d'ouvertures et fermées par de petites persiennes. Ces caisses sont recouvertes d'une espèce de toit et munies de portes qui s'ouvrent latéralement. Les mêmes wagons servent encore pour le transport d'un grand nombre de marchandises.

Le transport des moutons se fait dans de grandes cages à deux étages ; les deux planchers doivent être doublés de feuilles de zinc ou de plomb formant gouttières pour rejeter les urines au dehors. Cette garniture doit être placée sous les planchers ; sans cela, les moutons glissent sur le métal, tombent les uns sur les autres et se blessent ou s'étouffent même quelquefois.

Le lait est renfermé dans des boîtes cylindriques en fer-blanc de la contenance de vingt litres ; on charge environ deux cents de ces boîtes dans une caisse à claire-voie et à deux étages, dont le plancher intermédiaire est composé de grillages en bois mobiles.

Généralement les wagons à chevaux, dits wagons-*écuries*, se composent d'une caisse couverte divisée en trois compartiments par deux cloisons longitudinales. Une traverse mobile rembourrée s'appuie contre le poitrail du cheval et l'empêche de se mouvoir ; les parois extrêmes sont formées de portes spéciales pour chaque compartiment. Tantôt ces portes sont à deux battants, dont l'un se rabat sur le quai et sert de pont au cheval pour entrer on pour sortir, et dont l'autre se relève en forme de toit ; tantôt ces portes ont leurs charnières verticales.

Quelquefois aussi on transporte les chevaux dans de petites cages que l'on pose sur un wagon à plate-forme, comme cela se fait sur les bateaux.

Les wagons à bagages (fig. 282) sont couverts et fermés de tous côtés ; leurs portes s'ouvrent en roulant horizontalement sur une tringle de fer plat et sont guidées à leur partie supérieure par une seconde tringle.

Quand ils sont destinés aux trains de voyageurs, ils ont

l'appareil complet de choc et de traction ; pour les trains de

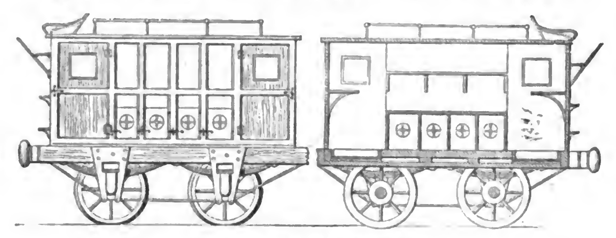


Fig. 282. *Wagons à bagages.*

marchandises, on supprime quelquefois les ressorts de choc.

A l'intérieur, on dispose des tablettes et une petite armoire pour les objets précieux. Sous les tablettes, on place des cages pour les chiens; ces cages sont munies de portes en tôle qui s'ouvrent à l'extérieur.

Les wagons à bagages sont toujours munis de freins.

On se sert sur plusieurs chemins de fer, pour le transport des bois de grandes dimensions, de wagons plates-formes montés sur huit roues. Les deux trains se meuvent indépendamment l'un de l'autre, de manière à permettre le passage dans les courbes et l'entrée dans les gares au moyen de plaques tournantes. D'autres fois les pièces de bois reposent sur deux trains à plate-forme séparés.

Les wagons de la poste pour le transport des dépêches sont des espèces de bureaux ambulants chauffés et éclairés et dans lesquels s'opère le triage des lettres.

Les caisses des voitures pour les voyageurs diffèrent peu de celles des diligences ordinaires

Les voitures de 1re classe se composent de trois caisses de berline ordinaire (fig. 283 et 284) ou de deux caisses de berline et de deux caisses de coupé.

Les voitures de 2e classe (fig. 285) offrent l'assemblage de trois ou quatre caisses de voitures ordinaires dont les parois seraient plates au lieu d'être bombées.

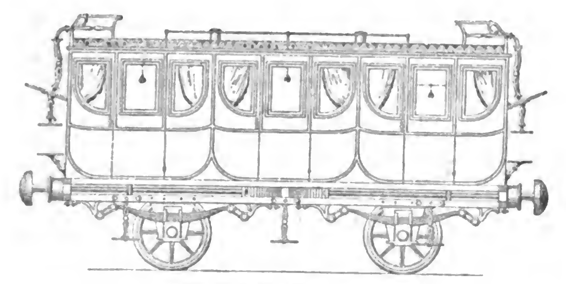


Fig. 283. *Voiture de 1re classe.*

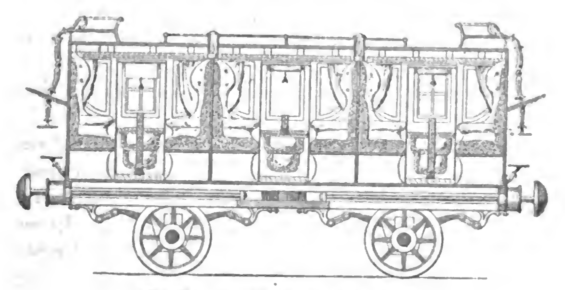


Fig. 284. *Coupe d'une voiture de 1re classe.*

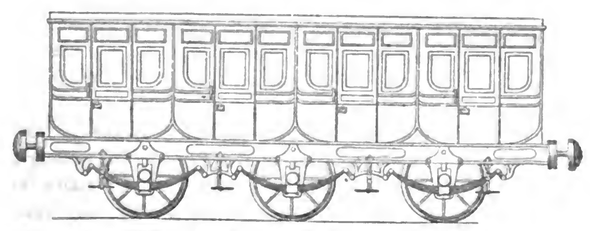


Fig. 285. *Voiture de 2e classe.*

Les voitures de 3e classe (fig. 286) étaient anciennement découvertes ; maintenant on les couvre sur toutes les grandes lignes.

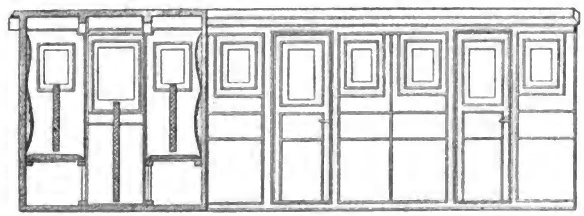


Fig. 286. *Voiture de 3e classe.*

On établit souvent sur les chemins de fer des voitures composées d'un compartiment de voiture de 1re classe compris entre deux compartiments de 2e classe ou de deux coupés comprenant deux compartiments de 2e classe. Ces voitures sont avantageuses, parce qu'elles dispensent d'ajouter au train une voiture complète pour un seul voyageur de 1re classe qui se présente.

Aux chemins de l'Est on emploie des voitures de 1re classe composées de deux caisses ordinaires et d'une caisse de coupé seulement ; cette dernière caisse est très-longue et peut au besoin permettre aux voyageurs de se coucher. La caisse de coupé ne contenant que trois voyageurs et remplaçant cependant une caisse ordinaire qui en contient huit, l'emploi de ces voitures est très-onéreux pour l'exploitation.

On trouve aussi sur les grandes lignes de chemins de fer des voitures dites voitures de luxe ou de cérémonie. La caisse de ces voitures renferme un ou deux salons avec une ou deux chambres à coucher et des cabinets. Elles ne servent que rarement.

Les voitures de voyageurs des chemins américains (dites *cars*) ne sont que d'une seule classe. Les gens de couleur ne sont placés que dans les wagons à bagages. Ces voitures sont d'une grande longueur ; elles reposent sur deux trains de quatre roues chacun, et sont élargies au-dessus des roues. Dans la

chambre, si on peut l'appeler ainsi, se trouvent ordinairement vingt-quatre petits bancs à deux places chacun, rangés de chaque côté du wagon de manière à laisser au milieu un espace vide assez large pour pouvoir circuler. Les bancs, en général recouverts en crin noir, sont à dossier mobile pour que les voyageurs puissent à leur gré se placer dans le sens où l'on chemine ou au rebours. Ces grandes voitures marchent dans les deux directions sans pouvoir jamais être retournées aux stations. Au milieu de la chambre est un poële en fonte, en forme de petite colonne, toujours chauffé dans la mauvaise saison et autour duquel viennent se grouper les voyageurs. Aux extrémités de la voiture sont de petites plates-formes servant d'entrée et de sortie, abritées par un auvent et terminées par une barrière en fer. Pendant le trajet les voyageurs y peuvent fumer, mais la place n'est pas assez large pour qu'on puisse s'y asseoir. Quand le convoi se compose de plusieurs voitures, on peut circuler de l'une à l'autre, en enjambant l'espace qui sépare les plates-formes. Chaque train transporte avec lui un buffet ambulant pour l'usage des voyageurs. Les dames, sur ces chemins, ont pour leur usage particulier, à l'extrémité des voitures qu'elles occupent, un cabinet avec ses accessoires.

D'autres voitures plus anciennes n'ont qu'une chambre où l'on est assis en carré, le dos appuyé contre les quatre parois. Tous les pieds se trouvent réunis dans le milieu et reposent sur un poële chauffé en dessous, à l'une des extrémités. Ces voitures sont très-incommodes; on y souffre beaucoup de la chaleur.

On a aussi employé sur le chemin de Strasbourg à Bâle des wagons à huit roues pour le transport des marchandises. Ils différaient des wagons américains en ce que chaque train pouvait effectuer sous sa caisse une révolution complète, ce qui permettait de faire tourner les wagons sur de petites plates-formes en manœuvrant les trains l'un après l'autre[1].

1 Voir les plans d'un de ces wagons dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*.

Nous avons déjà parlé des wagons à quatre, à six et à huit roues, et nous avons fait observer que les caisses des wagons à huit roues reposent sur deux trains séparés. C'est le châssis de la caisse qui, dans ces wagons comme dans ceux du système belge, porte l'appareil d'attelage.

Les wagons à six roues sont moins sujets aux oscillations latérales et verticales que ceux à quatre, mais ils passent plus difficilement dans les courbes. En amincissant ou en supprimant même les boudins des roues du milieu, et en donnant aux boîtes à graisse du jeu dans les plaques, on rend leur passage dans les courbes assez facile.

Les wagons à huit roues ont un mouvement de balancement désagréable pour les voyageurs entre les deux points sur lesquels reposent les caisses.

Le nombre de voyageurs portés par un wagon de chemin de fer est très-variable.

Dans les voitures de 1re classe des chemins anglais, on ne place pas au delà de six voyageurs par caisse, soit dix-huit par voiture. En France, on place huit voyageurs par caisse, soit vingt-quatre dans les trois caisses. Aux chemins de Versailles et de Saint-Germain, on place en outre seize voyageurs sur des banquettes de l'impériale.

Les caisses de voitures de 2e classe contiennent dix voyageurs par compartiment; comme il y a généralement trois compartiments pour les voitures à quatre roues, cela fait trente voyageurs pour toute la voiture.

Les voitures de 3e classe à quatre roues reçoivent quarante ou cinquante voyageurs.

Il existe, sur le chemin de Sheffield à Manchester, et sur ceux d'Allemagne, des wagons à quatre roues dans lesquels on voyage debout; ces wagons contiennent soixante voyageurs.

Les wagons à huit roues du chemin de Vienne à Raab portent cinquante-six voyageurs.

Si l'on compare le poids utile (celui des voyageurs ou marchandises) au poids mort (celui de la voiture vide), on trouve

que ce rapport est moins grand que pour les voitures qui circulent sur les routes ordinaires.

Ainsi, dans les anciennes diligences du chemin de Versailles (rive gauche), où ce rapport était plus favorable que sur tout autre chemin de fer à cause des voyageurs placés sur l'impériale, il n'était que de 0,70, tandis que, pour les anciennes diligences circulant sur les routes ordinaires, le poids de la charge utile était à celui de la voiture vide comme 5 est à 4, soit 1,20.

Il serait très-avantageux, surtout pour les lignes à fortes pentes, de réduire le poids du véhicule sans en diminuer la capacité ; mais cela est difficile, parce que le châssis doit présenter une grande solidité.

Il arrive même que sur les nouvelles lignes, bien loin de diminuer le poids des voitures, on l'a très-sensiblement augmenté. Ainsi les anciennes voitures de 1re classe à quatre roues et trois caisses du chemin d'Orléans ne pesaient que 3345 kilogrammes ; celles du chemin du Nord (fig. 287) pèsent 5240 kilogrammes ; celles d'Amiens à Boulogne, 5640 kilogrammes ; celles de Paris à Strasbourg, 5200 kilogrammes.

Cet accroissement de poids tient aux exigences toujours croissantes des voyageurs et à la nécessité qui s'est fait sentir d'augmenter la solidité des voitures afin qu'elles résistassent mieux aux chocs.

Aujourd'hui sur les nouvelles lignes on allonge les caisses des voitures de 2e et de 3e classe de manière à porter de trois à quatre le nombre des compartiments.

Il semblerait que l'on dût ainsi obtenir une réduction dans le rapport du poids mort au poids utile, réduction analogue à celle obtenue en augmentant la capacité des wagons à marchandises ; mais, bien que l'on n'augmente pas le nombre des roues, on se trouve forcé d'accroître les dimensions des différentes parties de la voiture, de telle façon que le rapport du poids mort au poids utile ne change pas dans les voitures de 3e classe et diminue fort peu dans celles de 2e. Nous trouvons, par

exemple, qu'au chemin de Strasbourg le rapport du poids mort au poids utile, qui était, dans les anciennes voitures de 2e classe, de $\frac{4600}{2750} = 2,45$, est, dans les nouvelles, de $\frac{6200}{3000} = 2,10$.

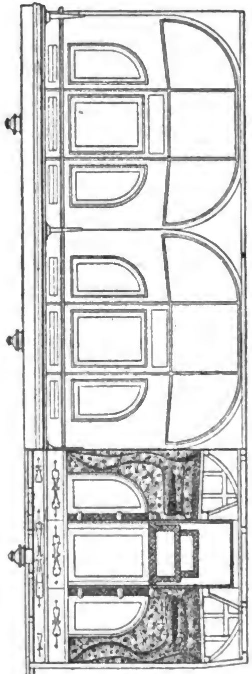


Fig 287.
Nouvelle voiture de 1re classe.

Dans celles de 3e classe, le rapport que nous trouvons dans les anciennes voitures, de $\frac{4850}{3000} = 1,61$, est, dans les nouvelles, de $\frac{6000}{3750} = 1,60$.

Le principal avantage de l'augmentation des longueurs des voitures à voyageurs réside dans une petite réduction sur le prix. En effet, les anciens wagons de 2e classe, coûtant 5600 fr., contenaient 30 voyageurs; en sorte que le capital engagé était de 186 fr. par voyageur. Dans les nouveaux, le capital engagé n'est que de 6100 fr., soit par voyageur 152 fr. Quant aux wagons de 3e classe, les anciens coûtaient 5225 fr. et contenaient 40 voyageurs, ce qui représentait un capital de 130 fr. par voyageur. Les nouveaux coûtent 6000 francs et contiennent 50 voyageurs, ce qui fait 120 fr. par voyageur.

L'écartement des essieux est plus grand dans les nouveaux que dans les anciens wagons. Ainsi cet écartement était, dans les anciens wagons de 2e classe, de 2m,49; il est, dans les nouveaux, de 3m,60. Il était, dans les anciens wagons de 3e classe, de 2m,65; on l'a porté, dans les nouveaux, à 3m,60.

Les voitures de 1re classe doivent être aussi confortables

que possible, sans toutefois être assez lourdes pour que l'usage en devienne onéreux pour l'exploitation.

On considère les voitures du chemin de fer du Nord comme remplissant cette double condition. Sur quelques nouvelles lignes cependant on leur a substitué le modèle anglais, qui en diffère essentiellement en ce que les caisses, un peu moins grandes, ne contiennent que six voyageurs au lieu de huit. C'est un accroissement de dépenses qui ne nous paraît pas suffisamment motivé, si ce n'est sur les lignes dont le faible entre-voie ne permet pas de donner aux caisses la largeur nécessaire.

Les voitures de 2e classe, sans être aussi commodes que celles de 1re classe, doivent l'être plus que celles de 3e. Il est assez difficile d'établir entre les voitures des différentes classes une juste proportion entre le *confortable* et le prix des places, de manière que la réduction des prix n'induise pas les voyageurs qui sembleraient devoir naturellement choisir les voitures de 1re classe à préférer la 2e, ou ceux qui appartiennent à la 2e classe à se contenter de la 3e.

Les caisses des voitures de 2e classe sur différents chemins de fer en exploitation sont à peu près semblables. Elles ne diffèrent des caisses des voitures de 1re classe qu'en ce qu'elles sont moins bien garnies et moins longues. Elles contiennent deux voyageurs de plus par compartiment et sont, comme ces dernières, fermées avec des glaces mobiles.

Au chemin de fer de Lyon les voitures de 2e classe sont trop confortables, elles doivent nécessairement attirer bon nombre de voyageurs de 1re classe.

Les modèles des voitures de 3e classe présentent plus de variétés. Sur le chemin du Nord les voyageurs de 3e classe étaient anciennement renfermés dans une caisse unique qui avait toute la longueur de la voiture. On y entrait par deux portières placées de chaque côté aux extrémités de la caisse ; les banquettes y étaient disposées en long comme dans les omnibus. Deux banquettes s'appuyaient contre les parois latérales. Deux autres étaient établies au milieu de la caisse.

Le service aux stations avec un aussi petit nombre de portières ne se fait pas avec toute la rapidité désirable, et les voyageurs éprouvaient trop de difficultés à sortir des wagons en cas d'accident. Il vaut mieux diviser la caisse en quatre compartiments et ouvrir de chaque côté autant de portes qu'il y a de compartiments. Les banquettes sont alors placées en travers. C'est la disposition que l'on adopte pour tous les nouveaux wagons.

Les wagons de 3e classe ne sont jamais garnis.

Sur les chemins de Rouen, d'Orléans et d'Alsace ils étaient primitivement découverts. Les nouveaux cahiers de charges obligent les compagnies à les couvrir et même à les fermer latéralement avec des glaces mobiles.

Ces ouvertures ne doivent être ni très-grandes ni très-petites. Si elles sont très-grandes, les voitures de 3e classe se trouvent être en été plus agréables que celles de 1re. Si elles sont très-petites, les voitures deviennent malsaines.

Les compartiments ne sont pas séparés par des parois pleines dans toute la hauteur comme dans les voitures de 1re et de 2e classe, mais par de simples dossiers qui ne dépassent pas le milieu de la hauteur de la caisse. Ces derniers doivent être solidement établis, afin de relier et de soutenir les parois latérales.

On établit avec avantage dans le haut des parois latérales, au-dessous de l'impériale, de petites ouvertures rectangulaires avec des persiennes pour laisser entrer le jour et circuler l'air quand les rideaux sont tirés.

Anciennement on plaçait dans les voitures de 1re classe des patères en bois ou en métal pour y suspendre les chapeaux. Aujourd'hui on les remplace avec avantage par des filets.

Dans les voitures de 1re classe du Nord et de plusieurs autres chemins, les plafonds sont en bois de citronnier. Aux chemins de l'Est ils sont simplement en drap, ce qui est beaucoup plus économique.

On emploie sur les chemins de l'Est des coussins élastiques dont on est satisfait.

On a fait des voitures exclusivement destinées aux fumeurs; mais comme un grand nombre de voyageurs, contrairement aux ordonnances de police, fument dans toutes les voitures, et qu'avec le système de voitures adopté en France, il est à peu près impossible de les en empêcher pendant le trajet, entre deux stations, on a renoncé à l'emploi de ces voitures spéciales.

DES FREINS.

Les freins sont placés sur un certain nombre de voitures et sur les tenders, pour empêcher au besoin les roues de tourner et convertir ainsi leur frottement de roulement en frottement de glissement.

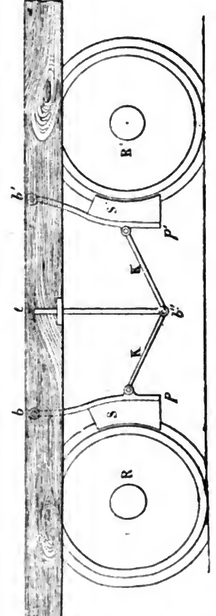


Fig. 288. *Ancien frein du chemin de Saint-Germain.*

L'usage de freins puissants peut prévenir de graves accidents.

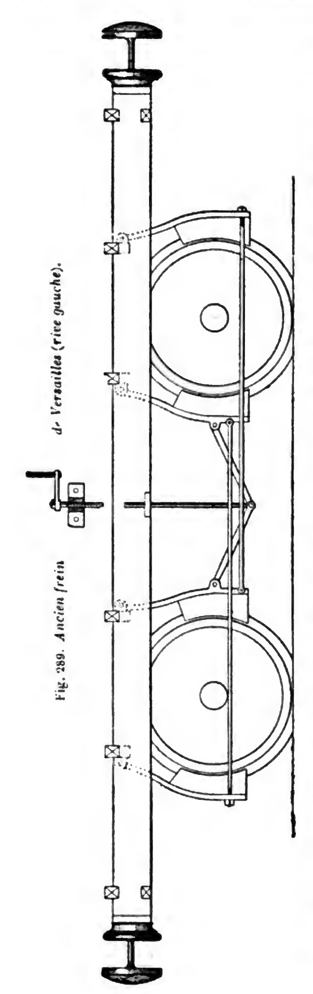
On a employé divers modèles de freins.

Le sabot destiné à presser le pourtour de la roue est toujours en bois. Il est généralement boulonné à un patin en fer.

La figure 288 représente le frein employé dans l'origine au chemin de fer de Saint-Germain.

S et S' sont les sabots en bois.

Les patins p et p' sont suspendus à des boulons b et b', fixés à une des longuerines du châssis. Ils peuvent osciller sur ces boulons comme un levier sur un point fixe. Deux petites bielles K et K' assemblées à charnières avec les patins p et p' sont réunies par un boulon b'' à une tringle verticale t dont l'extrémité infé-


Fig. 289. *Ancien frein de Versailles (rive gauche).*

rieure est emmanchée sur le même boulon, et monte verticalement jusqu'à l'impériale où elle est filetée et se loge dans un écrou fixé à cette impériale. Cette tige se termine à sa partie supérieure par une manivelle placée dans la main d'un des conducteurs du train. En tournant cette manivelle on fait descendre ou monter la tige verticale, et par conséquent le boulon b'', ce qui écarte ou rapproche les sabots des roues R et R'. Les sabots étant fortement pressés contre les roues, les empêchent de tourner.

Le frein de Saint-Germain tend à écarter les deux roues, et par conséquent à détruire le parallélisme des essieux. C'est un inconvénient auquel on a cherché à remédier dans le frein (fig. 289) employé sur le chemin de Versailles (rive gauche).

Sur les chemins de Rouen, d'Orléans, et sur toutes les nouvelles lignes, les freins sont disposés tout différemment. Les sabots S et S' (fig. 290) sont portés à l'aide d'une coulisse sur une barre de fer plat B, fixée aux boîtes à

graisse mêmes K et K′, de telle sorte que le frein, en suivant le mouvement vertical des boîtes à graisse sur les saillies en fer à cheval *s s* (fig. 250, voir page 141), agit toujours dans l'axe des roues. La barre de fer sert à prévenir l'écartement des essieux. Les sabots sont mis en mouvement par des bielles au moyen d'un arbre supporté par la même barre de fer.

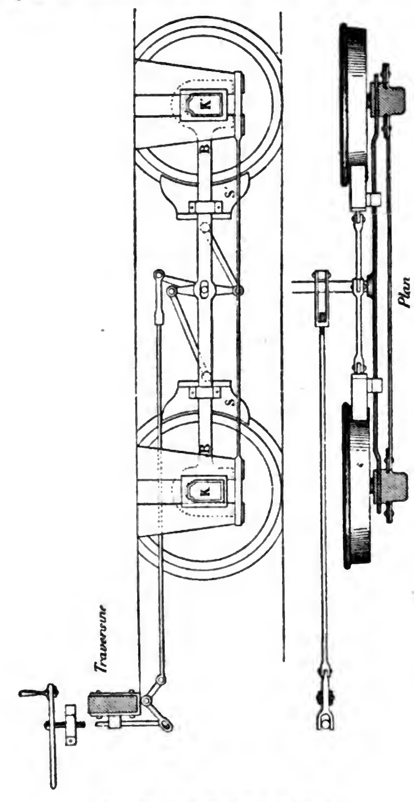


Fig. 290. *Frein du chemin de Rouen.*

Les sabots s'usant inégalement, ce frein, comme tous ceux dont l'axe est fixe, n'exerce pas la même pression sur les deux roues.

On obvie à cet inconvénient en ovalisant les trous des deux grandes entretoises dans lesquels les extrémités de l'arbre portent.

Plusieurs ingénieurs préfèrent l'ancien frein des chemins de

Versailles au frein plus moderne du chemin de Rouen. On a remédié à son principal défaut, celui de s'appliquer inégalement contre les roues quand la charge varie, en apportant dans sa construction une modification suffisamment indiquée fig. 291. Cette opinion en faveur de ce frein se motive de la manière suivante : il est d'un poids et d'un prix beaucoup moins élevés que le frein de Rouen ; il permet de retirer les roues du wagon sans qu'il soit nécessaire de le démonter. Dans le système de Versailles, le frottement des glissières sur les longerons est supprimé, d'où il résulte que la force déployée par le garde-frein pour le serrage est mieux utilisée.

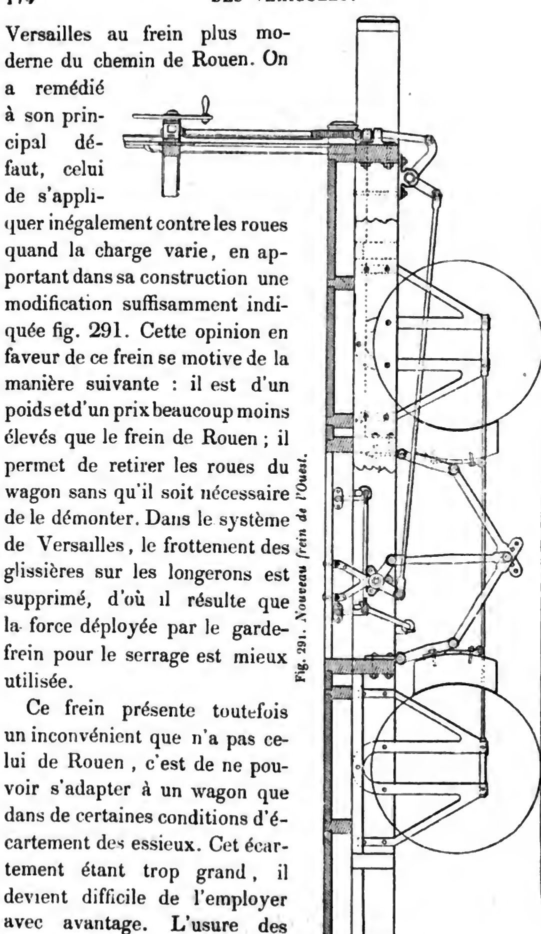


Fig. 291. Nouveau frein de l'Ouest.

Ce frein présente toutefois un inconvénient que n'a pas celui de Rouen, c'est de ne pouvoir s'adapter à un wagon que dans de certaines conditions d'écartement des essieux. Cet écartement étant trop grand, il devient difficile de l'employer avec avantage. L'usure des sabot avec ce frein est aussi

moins uniforme qu'avec le frein à longerons. A tout bien considérer, cependant, les avantages du frein de Versailles modifié l'emportent tellement sur les inconvénients, que nous conseillons de l'employer toutes les fois que les dispositions du matériel le permettront. Aux chemins de l'Est on l'a adapté à un grand nombre de wagons.

Quel que soit le système de frein employé, il importe de pouvoir régler la longueur de certaines des pièces qui le composent, de manière à compenser l'usé des sabots en bois.

On peut, au lieu d'employer une vis pour serrer le frein, comme nous l'avons indiqué, faire usage d'un levier. C'est ce qui a lieu dans le frein représenté fig. 292, dont on se sert pour les wagons de terrassement et les wagons à charbon.

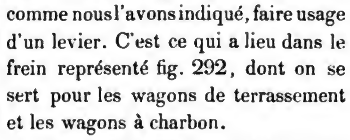


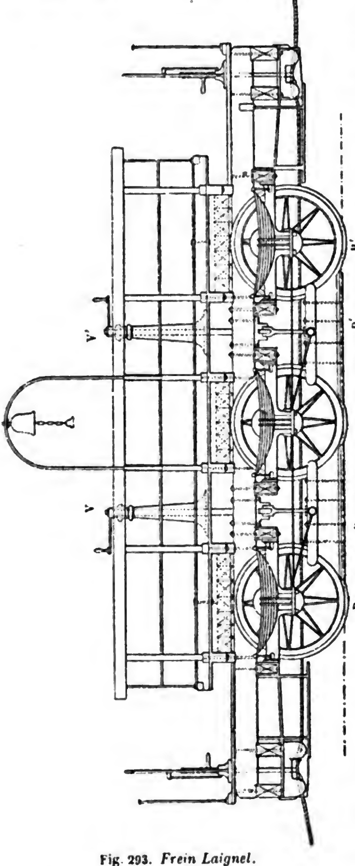
Fig. 292 *Frein à levier.*

L'usage du levier permet d'agir avec beaucoup plus de promptitude, lorsqu'il faut serrer le frein; mais le serrage n'a plus lieu dès que le conducteur cesse de s'appuyer dessus, et il n'est énergique qu'autant que le levier est très-long. L'emploi des tiges à vis, bien qu'il exige plus de temps pour le serrage, est préférable.

On a aussi employé des crémaillères et des roues d'engrenages au lieu de vis. Cette disposition est bonne pour les tenders dont l'attelage avec la machine est très-solide; pour les wagons elle agit trop rapidement et occasionne fréquemment la rupture des attelages.

Sur le plan incliné de Liége, on se sert, pour modérer la vitesse des convois descendants, de freins qui agissent directement sur les rails, au lieu d'agir comme les freins ordinaires sur les roues.

La figure 293 représente cette espèce ingénieuse de frein inventé par M. Laignel.


Fig. 293. *Frein Laignel.*

Le frein est porté sur un wagon spécial, appelé wagon-frein, que l'on charge d'un poids aussi considérable qu'on le juge nécessaire. Ce wagon est à six roues. Des patins en bois p p', placés entre les roues R et R', sont suspendus par des tiges verticales aux extrémités de leviers.

On élève ou on abaisse les leviers et les patins au moyen de vis V, V', qui se meuvent dans des écrous fixes supportés par des colonnes fixées au milieu de la plate-forme du wagon. Lorsqu'on veut faire agir le frein, on fait poser les patins en bois sur les rails et l'on presse jusqu'à ce que, le wagon étant soulevé sur ces appuis fixes, les roues cessent de reposer sur

le rail. Le wagon-frein se trouve ainsi converti en un traîneau dont le frottement est d'autant plus grand que le wagon est plus lourd.

Les freins ordinaires produisent, quand ils agissent, un ébranlement désagréable pour les voyageurs; aussi doivent-ils être placés sur les wagons à marchandises ou à bagages, de préférence aux wagons à voyageurs, et sur les wagons à voyageurs de 2e ou de 3e classe, plutôt que sur ceux des voyageurs de 1re classe.

La meilleure disposition consisterait peut-être à mettre en tête et en queue de chaque train, un wagon spécial chargé très-lourdement et muni d'un frein très-énergique; mais ce moyen deviendrait un peu coûteux.

Chaufferettes.—On emploie pour le chauffage des voitures de 1re classe des caisses en métal remplies d'eau bouillante. Au chemin de Rouen elles sont carrées et logées sous les pieds des voyageurs dans des compartiments spéciaux ménagés au bas des caisses de voitures. Aux chemins d'Orléans, du Nord, de Lyon et de Strasbourg on se sert de caisses cylindriques rondes ou ovales posées simplement sur le plancher. Ces caisses sont en tôle rivée et enveloppées d'un tapis en moquette. Les chaufferettes carrées se déforment facilement et se refroidissent vite. Les pieds ne touchent les chaufferettes rondes que par une arête. On les remplace au chemin de Strasbourg par des chaufferettes elliptiques.

DES CAHIERS DE CHARGES POUR LA FABRICATION DES VOITURES.

Les cahiers de charges pour la fabrication des voitures doivent contenir, en ce qui concerne l'exécution des modèles, les réceptions, les garanties, les payements, la défense de sous-traiter, et la constitution d'un tribunal arbitral en cas de contestation, les mêmes clauses que les cahiers de charges pour les rails, pour les coussinets, pour les changements de voie et pour les plaques tournantes.

Il nous reste à passer en revue les différentes conditions qui leur sont particulières.

La fabrication des roues, des essieux, des ressorts, des châssis et des caisses de voitures n'est pas ordinairement confiée à un seul et même établissement.

Les roues, les essieux et les boîtes à graisse proviennent des forges et des fonderies, tandis que le châssis, la caisse et quelquefois les ressorts des voitures de voyageurs sont commandés aux grandes carrosseries.

Quant aux caisses de wagons de terrassement ou de wagons de marchandises, elles peuvent être fabriquées avec économie et toute la perfection désirable par de simples charpentiers.

Les essieux doivent être composés de barres de fer de première qualité, corroyées ensemble. Ces barres doivent avoir été préparées entièrement au charbon de bois et forgées au marteau.

En Allemagne, on emploie depuis quelque temps des essieux en acier fondu, qui donnent, dit-on, pleine satisfaction.

Quelques-unes au moins des barres qui doivent composer l'essieu, et les essieux eux-mêmes subissent une épreuve.

Souvent on essaye les essieux des voitures employées sur les chemins de fer comme ceux de l'artillerie, soit en les posant sur des appuis dont l'écartement est constant, et en laissant tomber la barre elle-même horizontalement, d'une certaine hauteur, sur des blocs de métal ; mais, comme ces essais fatiguent beaucoup les essieux, on n'y soumet qu'une petite portion de chaque livraison prise au hasard, et l'on ne saurait employer, sans quelque imprudence, les essieux ainsi éprouvés.

Sur le chemin de Bâle à Strasbourg, et sur celui de Paris à Strasbourg, on procède différemment. Chaque essieu, étant forgé avec un excédant de longueur de 25 à 30 centimètres, on rogne les bouts en les entaillant à froid, de manière à en déterminer la rupture, et on les brise au marteau. Par ce moyen, on peut, non-seulement apprécier la résistance du fer, mais encore en examiner la texture et s'assurer de sa qualité.

Ces fragments, marqués au nom du fabricant et au numéro

de l'essieu dont ils proviennent, sont conservés comme pièces justificatives de la bonne qualité des fers employés et comme moyens d'observations ultérieures.

Les boîtes à graisse doivent être en fonte de bonne qualité et parfaitement semblables au modèle fourni par l'ingénieur au fabricant.

Il est essentiel, lorsqu'on procède à leur réception, d'analyser le bronze de quelques coussinets.

Ce bronze doit renfermer :

Étain.	18 °/₀
Cuivre.	82

Les roues doivent être parfaitement centrées sans le secours des clavettes, ce qui ne peut se faire qu'autant que le moyeu est alézé.

On reconnaît à la réception que les roues tournent bien rond, en posant l'essieu sur deux coussinets fixes, le faisant tourner, et plaçant une pointe fixe à une petite distance de la roue.

Si la roue est bien centrée, cette distance doit rester invariable.

On reconnaît de la même manière, en plaçant le style fixe derrière la roue et perpendiculairement à son plan, que ce plan n'incline dans aucun sens sur la direction de l'essieu.

L'ingénieur doit se montrer extrêmement sévère sur la qualité du fer dont est composé le cercle à rebords. Pendant longtemps il a été difficile de s'en procurer qui joignît la dureté à la ténacité nécessaire.

Plusieurs usines en fabriquent maintenant d'excellente qualité. Depuis quelque temps, on se sert de bandages en acier fondu qui paraissent devoir remplacer avec avantage ceux en fer. Anciennement tous les bandages étaient recourbés sur les roues et soudés à leurs extrémités. Aujourd'hui MM. Petin et Gaudet les livrent sous forme de cercle du diamètre de la roue sur laquelle on les emmanche.

On a exigé que les bandages fussent tournés à l'intérieur

aussi bien qu'à l'extérieur, afin qu'ils s'appliquassent bien exactement sur le faux cercle; mais on les fabrique aujourd'hui avec une telle précision qu'il est devenu inutile de les tourner intérieurement.

L'ingénieur doit fixer son attention sur le plus ou moins de soin apporté dans l'assemblage du cercle à rebords avec le cercle intérieur au moyen des rivets. Nous avons vu sur un grand nombre de roues des cercles se détacher, parce que les rivets n'étaient pas suffisamment coniques, ou parce qu'ils ne l'étaient pas sur toute l'épaisseur du cercle.

Quand les roues sont envoyées de l'usine calées sur les essieux, il faut s'assurer que le calage a été fait avec soin. Des roues mal calées peuvent, en se détachant de l'essieu, occasionner de graves accidents.

L'alézage du moyeu et le tournage de l'essieu doivent être faits sur calibre avec la plus rigoureuse exactitude ; le serrage doit être tel, qu'il faille un effort d'environ 40 000 kilogrammes pour faire pénétrer l'essieu dans le moyeu. Les clavettes sont, dans ce cas, à peu près inutiles.

Les roues jumelles, c'est-à-dire celles qui sont portées par un même essieu, doivent être exactement du même diamètre.

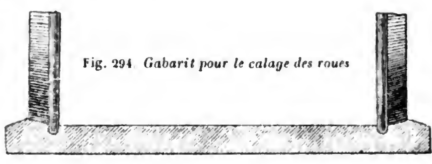
On pourrait admettre une différence de diamètre dans les roues portées par des essieux différents; toutefois il convient d'exiger que toutes les roues sans exception soient rigoureusement du même diamètre, afin que des roues fixées sur un essieu puissent servir, au besoin, comme roues de rechange pour d'autres essieux.

Il importe que la conicité des roues soit bien telle que l'ingénieur l'a prescrite, et qu'elle soit exactement la même pour toutes les roues.

Un seul et même gabarit en tôle (fig. 294) peut servir à mesurer l'inclinaison des jantes et à constater que l'écartement des roues jumelles est invariable.

Les roues en fer montées sur leurs essieux, avec bandages

ordinaires de bonne qualité, valent aujourd'hui 0,75 le kilogramme.


Fig. 294. *Gabarit pour le calage des roues*

Une boîte à graisse avec les fusées très-grandes, vaut actuellement de 25 à 30 francs.

La bonté des ressorts dépend essentiellement de la qualité de l'acier employé, du choix judicieux des formes et de leur bonne exécution. La construction des ressorts étant maintenant concentrée dans quelques maisons importantes et offrant des garanties sérieuses, l'ingénieur devra se borner à fixer les conditions de flexibilité, de charge et de longueur à remplir par chaque ressort, et à imposer aux fabricants des pénalités assez sévères pour le cas de mauvaises fournitures. Les ressorts en acier fondu se vendent aujourd'hui à Paris 1f,30 le kilogramme. Il n'y a pas dix ans que ceux en acier cémenté valaient 2f,40.

On essaye les ressorts en les redressant à froid au moyen d'une presse. Ils doivent, quand ils sont ensuite abandonnés à eux-mêmes, reprendre leur forme primitive, à peu de chose près, lors d'une première épreuve, rigoureusement lors des épreuves suivantes.

S'il convient, pour toute espèce d'objets, de choisir un fabricant qui non-seulement s'engage à les fournir de première qualité, mais qui soit en état de remplir ses engagements, cela est surtout essentiel pour la confection des caisses de voitures.

Nécessité d'employer des bois bien secs. — La parfaite siccité des bois étant une des premières conditions du bon établissement du matériel, c'est aux carrosseries pourvues de dépôts anciens et considérables que l'on doit exclusivement s'adresser pour cette construction.

Malheureusement les délais de livraison sont en général si

courts et les échantillons des bois varient tellement d'un matériel à un autre, que cette condition est rarement remplie.

Nature des bois. — Pour les châssis, on emploie le bois de chêne; pour le bâti des caisses, les brancards, les pavillons, les montants, le frêne; pour les parcloses et les dossiers, on se sert de grisard, espèce de peuplier blanc de Hollande; pour l'impériale, du même bois ou du sapin.

Quelquefois on emploie le hêtre pour les montants et battants de portières, mais c'est un bois qui exige des soins tout particuliers pour ne pas s'échauffer avant d'être sec. Le meilleur bois pour les châssis de fenêtres est le hêtre. L'acajou se fend trop facilement lorsqu'il n'est pas très-épais.

Depuis quelques années on a, sur certains chemins, remplacé les panneaux en tôle par des panneaux en bois de *teak*, espèce de bois d'acajou. Le teak a sur les autres bois l'avantage de ne pas se fendre et de permettre le remplacement de dix à douze couches de peinture par une seule couche de vernis. Mais il est coûteux et on lui reproche d'être cassant et de laisser passer l'eau par les joints. Les ingénieurs sont donc partagés sur la question de savoir s'il convient de le substituer à la tôle.

Caractères des bois secs. — Le bois sec se reconnaît surtout au poids et aussi un peu à la vue. Une sciure légère, fine et poudreuse, est un indice assez certain de siccité. On peut encore apprécier la siccité des bois par le simple toucher d'une poignée de copeaux.

Le chêne, le frêne, l'orme et le grisard doivent avoir de trois à quatre ans de coupe.

On ne se sert guère de noyer que pour les panneaux des voitures de particuliers. C'est un bois qu'il est très-difficile de se procurer suffisamment sec.

Il faut qu'il ait cinq ou six ans au moins d'abatage.

Au chemin d'Aix-la-Chapelle, on a employé, pour la construction des voitures, des bois d'une année de coupe seulement séchés à la vapeur; mais le bois ainsi préparé perd toujours de sa ténacité.

Les bois doivent être débités en plateaux le plus longtemps possible avant d'être mis en œuvre.

Il convient aussi de laisser les voitures montées en blanc exposées à l'air pendant un certain temps avant de poser la peinture. L'ingénieur doit d'ailleurs exiger qu'elles lui soient présentées d'abord dans cet état, afin qu'il puisse en reconnaître aisément les défauts.

Tôle employée pour les panneaux. — La tôle des panneaux n'a souvent qu'un demi-millimètre d'épaisseur. Au chemin de Strasbourg à Bâle, toutefois, on a trouvé que le dressage de la tôle mince valant plus que la matière, il y avait économie à employer des tôles de plus d'un millimètre.

La tôle préférée à Paris pour les panneaux est de l'espèce dite tôle anglaise dans le commerce.

Peinture des caisses. — Les caisses de voitures sont ordinairement recouvertes de cinq à sept couches d'apprêt : d'une couche de gris, de deux couches de teinte, d'un glacis à la laque carminée, de deux couches de vernis à polir et de deux couches de vernis à finir.

Il est très-important de ne poser une nouvelle couche de peinture que lorsque celle qu'elle doit recouvrir est déjà parfaitement sèche.

Le temps nécessaire pour sécher chaque couche est très-variable : il dépend de la saison et de l'exposition des ateliers.

La peinture ne peut être bonne qu'autant que la céruse qui en forme la base est de première qualité.

Il faut aussi que la peinture proprement dite soit convenablement choisie. Ainsi le vert-de-gris est préféré au vert de Scheele; pour les teintes jaunes, on emploie le jaune de chrome, soit orangé, soit jaune clair; pour les teintes bleues, le bleu de Prusse; pour les teintes brunes, le rouge de Van Dyck mélangé, suivant les teintes, de noir d'ivoire, de terre d'ombre ou de terre de Cologne, avec jaune d'ocre ou terre de Sienne.

On peut exiger du fabricant qu'il garantisse que la peinture des voitures se conservera pendant huit mois au moins sans gerçures.

Il importe, pour que le fabricant ait le temps de débiter et de laisser sécher les bois et les couches de peinture, que les voitures soient commandées six mois d'avance au moins.

Il convient aussi que les voitures soient fabriquées, s'il est possible, plutôt en été qu'en hiver.

Les voitures en bois de teak sont seulement vernies ; c'est là un grand avantage, car quand elles entrent en réparation, les voitures en bois ordinaire et tôle exigent souvent plus de temps pour les raccords de peinture que pour la réparation proprement dite.

Nature des fers. — Les ferrures du châssis doivent être de bonne qualité ; mais il n'est pas indispensable que toutes les pièces soient en fer fabriqué au charbon de bois et au marteau, comme l'exige le cahier des charges pour les voitures de plusieurs chemins de fer. Il serait tout au plus nécessaire d'imposer cette condition au fabricant pour la partie des ferrures la plus exposée à la fatigue.

Les chaînes d'attelage doivent être en bon fer à câble.

Nature du crin et quantité. — La quantité de crin pour chaque caisse d'une diligence peut être réduite à 55 ou 60 kilogrammes, moyennant certaines dispositions intérieures qui consistent à soutenir la garniture par de fortes toiles tendues énergiquement.

Le crin doit être de première qualité, coûtant de 3f,50 à 4 francs le kilogramme à Paris.

Dans les voitures de 2e classe, on remplace quelquefois en grande partie le crin par des étoupes ou du crin végétal.

Draps. — Sur plusieurs chemins des environs de Paris, le drap que l'on a préféré pendant longtemps pour garnir les diligences est le drap d'Elbeuf bleu bien serré, coûtant de 12 à 14 francs le mètre. Ce drap est sujet à blanchir.

Maintenant on emploie de préférence le drap noisette, dont la couleur est plus agréable, moins sujette à s'altérer, et dont le prix n'est que de 11 à 12 francs le mètre.

CHAPITRE XI.

DES MOTEURS.

Nous avons dit précédemment que l'on emploie comme moteurs, sur les chemins de fer, les chevaux, la force naturelle de la gravité, les machines, fixes ou locomotives.

On ne fait aujourd'hui usage de chevaux que sur les chemins de fer établis pour desservir les mines ou les usines, ou pour les travaux de terrassement.

Un cheval de force moyenne exerçant un effort de 50 kilogrammes, traîne au pas, sur un chemin de fer de niveau et rectiligne en bon état, dans des wagons bien construits et bien entretenus, une charge de 8 à 10 tonnes, poids brut, c'est-à-dire un peu plus de huit fois ce qu'il traînerait sur une route ordinaire en bon état; il peut en traînant cette charge travailler dix heures par jour.

La vitesse augmentant, son travail utile diminue ; ainsi il est reconnu que ce même cheval, marchant au trot, n'exercera plus qu'un effort de moitié. La vitesse sera doublée; mais il ne pourra plus travailler que quatre heures par jour.

Nous indiquerons plus loin comment, connaissant la charge que le cheval peut traîner en plaine, on peut calculer celle qu'il est en état de remorquer sur une rampe d'inclinaison donnée.

Les voies de fer pour les terrassements n'étant ni posées ni entretenues avec le même soin que les voies définitives, la charge traînée par un cheval sur des voies de ce genre ne sera plus que de 6 à 8 tonnes, au lieu de 8 à 10.

Des plans automoteurs.

En général, les chemins de fer établis pour transporter les produits des mines vers les points d'embarquement ont une pente assez prononcée de la mine vers l'autre extrémité de la ligne. Sur les points où cette pente atteint de 25 à 30 millimètres par mètre, on établit avec avantage des *plans automoteurs*.

Des freins placés sur l'axe de la poulie, ou sur celui du treuil, servent à en modérer la vitesse ou à les arrêter au besoin; mais il se peut qu'on arrête la poulie sans que pour cela le convoi entraîné par une force supérieure cesse de marcher ; dans ce cas la corde glisse. Quand au contraire le treuil cesse de tourner, le convoi, si le câble ne casse pas, cesse forcément d'avancer. En conséquence, on préfère les treuils aux poulies sur des plans très-inclinés où l'excès de gravité est considérable.

La figure 295 indique la disposition d'une poulie de plan automoteur avec son frein.

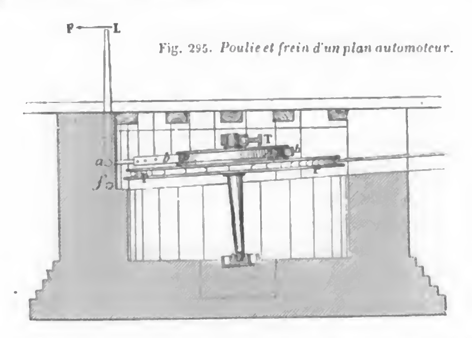


Fig. 295. *Poulie et frein d'un plan automoteur.*

Le diamètre de la poulie PP est égal à l'écartement d'axe en axe des deux voies établies au sommet du plan. Elle est venue de fonte avec une seconde poulie *pp* à gorge plate, tournée avec soin. Une bande de fer méplat très-flexible *b*, coudée en fer à cheval, entoure une moitié de la poulie *pp*;

elle est garnie de tasseaux en bois dans sa partie curviligne qui suit le pourtour de cette poulie. Par l'une de ses extrémités, cette bande de fer est fixée à la cuve en maçonnerie dans laquelle est logé l'appareil ; son autre extrémité est articulée en *a* au levier L, dont le point fixe *f* est également pris sur la maçonnerie. En exerçant sur le levier L un effort dirigé dans le sens de la flèche F, on applique la garniture en bois de la bande de fer contre la gorge de la poulie *pp*, et l'on produit ainsi un frottement qui entrave ou même arrête complétement le mouvement de la poulie PP, et par conséquent du câble.

L'axe de la poulie tourne à sa partie inférieure dans une crapaudine, à sa partie supérieure dans un palier fixé sur la traverse T. Il est incliné en arrière, de telle sorte que les deux leviers du câble, partant d'une certaine profondeur au-dessous du sol, arrivent au niveau des rails au sommet du plan incliné. En ce point, ils s'infléchissent chacun sur une poulie de renvoi à axe horizontal, et suivent la pente de la voie. A l'aide de cette disposition, la poulie peut être placée au-dessous du sol à une profondeur assez grande pour ne pas être gênée par les rails et les traverses, et le câble acquiert près de la poulie une tension telle, qu'il ne fouette pas et ne risque pas de quitter la gorge.

Sur un plan incliné établi à Rive-de-Gier, on se sert d'un frein très-puissant qui mérite une mention particulière. Ce frein est composé de deux meules de moulin placées sur un axe commun vertical. Le convoi marchant, la meule supérieure est pour ainsi dire suspendue au-dessus de la meule inférieure. Veut-on faire agir le frein, on fait, au moyen d'un système de leviers, glisser la meule supérieure sur l'axe, de manière qu'elle vienne s'appuyer sur la meule inférieure. Le frottement, qui alors a lieu entre les deux meules, arrête le convoi.

Les cordages sont en chanvre ou en fil de fer. Les cordages en fil de fer sont préférés.

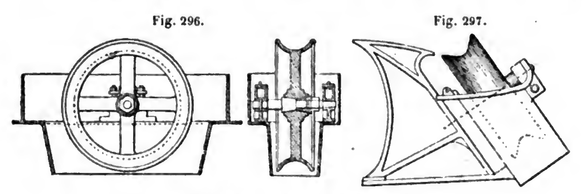
On s'est aussi servi de chaînes en fer ; elles sont plus économiques que les cordages, à cause de leur longue durée, mais elles sont plus lourdes et plus sujettes à se briser subitement. Une simple paille, dans un des anneaux, suffit pour en occasionner la rupture.

Le wagon, placé en tête du convoi, est fixé au câble par un anneau dans lequel pénètre un crochet attenant au câble.

Quelquefois on emploie des crochets à pièces mobiles, au moyen desquels on peut séparer brusquement le convoi du câble, dès qu'il est arrivé au sommet ou au bas du plan incliné.

Les cordages reposent de distance en distance sur de petites poulies fixes (fig. 296 et 297), établies au milieu des voies.

Fig. 296. Fig. 297.



Poulies fixes de plans automoteurs.

Dans le haut du plan où l'amplitude des oscillations de la corde est la plus grande, on se sert de rouleaux en bois, au lieu de poulies en fonte. Dans les courbes on emploie des poulies dont l'axe est incliné à l'horizon (fig. 297), ou des poulies dont l'axe est vertical (fig. 296).

Quelquefois on établit deux voies dans toute la longueur du plan automoteur, du sommet S au pied P (fig. 298). Le cable étant alors développé sur une des voies V', l'un des crochets est attaché au convoi le moins chargé K', l'autre crochet au convoi le plus chargé K. Le convoi K étant abandonné à lui-même, descend sur la voie V en entraînant le cordage et faisant remonter le convoi K' sur la voie V'. Le convoi K arrivant au bas du plan automoteur, le convoi K' arrive au som-


Fig. 298.

met, et c'est alors sur la voie V, au lieu de la voie V', que la corde est détendue. Si la voie V est la voie d'allée sur laquelle les machines où les chevaux marchent dans le sens de la flèche F, le convoi K reste en s'éloignant du plan automoteur sur la voie V, et un nouveau convoi de wagons vides arrivé sur la voie V', passe au moyen du changement de voie N' N sur la voie V. Au sommet du plan le convoi K' reste sur la voie V', et un nouveau convoi plein, arrivé sur la voie V, passe au moyen du changement de voie M' M sur la voie V'. Tout est prêt pour que le plan automoteur fonctionne de nouveau, et c'est alors sur la voie V' que le convoi descend, et sur la voie V qu'il remonte. Le convoi arrivé au bas du plan passe sur la voie V au moyen du changement de voie N' N', et celui arrivé au sommet sur la voie V au moyen du changement de voie M' M.

Il n'est pas absolument nécessaire de poser deux voies dans toute l'étendue du plan automoteur. En Angleterre, les voies sur les plans automoteurs sont généralement disposées comme l'indique la fig. 299. On pose alors trois files de rails seulement dans le haut du plan ; on ne pose une double voie que dans le milieu où les convois montant et descendant se croisent, puis on établit une simple voie dans le bas ; en R et R' on établit deux aiguilles mobiles liées par une bielle transversale, de manière à rester constamment parallèles comme celles des changements de voie ordinaires. Il est facile, en se rendant compte du jeu du plan automoteur, de comprendre que les rails étant ainsi placés, le service se fait tout aussi bien qu'avec une double voie sur toute la longueur.

Supposons effectivement la corde développée, sur la voie V" V¹ V (fig. 299) un convoi faiblement chargé ou vide K' attaché au bas de cette corde, et un convoi

très-chargé ou plein K attaché dans le haut. Les aiguilles étant alors disposées de manière à laisser la voie V_1 ouverte, le convoi K′ montant arrivant en RR′, passe dans cette voie V_1 pour ensuite suivre la voie V″ jusqu'au sommet du plan automoteur. Le convoi descendant K suit d'abord la voie V′ ; il passe ensuite tout naturellement dans la voie V_2, pour croiser le convoi montant ; puis il arrive à l'emplacement des aiguilles ; le boudin de l'une des roues d'avant du premier wagon du convoi chasse en passant l'aiguille R sur le côté, et celle R′ qui est solidaire ; de telle façon qu'après le passage du convoi, c'est la voie V_2 qui est ouverte et celle V_1 qui est fermée ; le convoi K, après avoir passé les aiguilles, descend enfin sur la voie V jusqu'au bas du plan. La corde est alors développée sur la voie V′ V_2 V, au lieu de l'être sur la voie V″ V_1 V, et le service pour deux nouveaux convois montant et descendant sur le plan automoteur se fait comme pour les convois K et K′, avec cette seule différence que le convoi montant suit cette fois la voie V V_2 V′, au lieu de la voie V V_1 V″, et le convoi descendant la voie V″ V_1 V, au lieu de la voie V′ V_2 V.

Fig. 299. *Plan automateur système anglais.*

Nous avons supposé, pour simplifier l'explication, des aiguilles semblables aux aiguilles ordinaires ; cependant on préfère généralement à ces aiguilles en métal, établies dans le même plan que les rails, de grandes aiguilles en bois placées au-dessus comme nous allons l'expliquer. Les aiguilles en bois, faisant en même temps office de *contre-rails*, s'opposent efficacement au déraillement qui pourrait avoir lieu au moment du changement brusque de direction.

Lorsqu'on emploie les aiguilles en bois, les files de rails *a b* et *c d* (fig. 300) se terminent en *b* et *d*, de manière à laisser subsister deux petites lacunes assez larges

pour laisser passer le boudin d'une roue seulement. Deux tasseaux *o* et *o'*, fixés à une traverse, sont placés au milieu des angles *c d g* et *a b f*, la surface supérieure de ces tasseaux est dans le plan de la surface de roulement des rails. Sur ces tasseaux reposent les extrémités de deux grandes aiguilles en bois garnies de bandes de fer *x x'* *y y'*. Ces aiguilles sont parallèles. Une bielle transversale en fer maintient leur parallélisme. Étant disposées comme l'indique la figure, il est évident qu'elles interceptent la voie V^1, et laissent ouverte la voie V^2. Il est évident aussi que, placées au-dessus des rails sur lesquels elles reposent, elles peuvent servir, comme un contre-rail, à empêcher le déraillement du côté où il tendrait à avoir lieu, c'est-à-dire de gauche à droite.

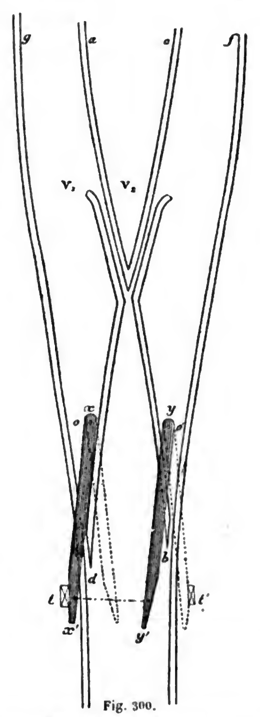


Fig. 300.
Aiguilles en bois pour plan automateur.

Ces aiguilles en bois, comme celles en fer, sont chassées de côté par les convois pleins descendants; elles tournent alors sur leurs boulons de jonction aux tasseaux en glissant sur la surface de roulement des rails, et elles prennent la nouvelle position indiquée en lignes ponctuées. Leur mouvement est limité par deux autres tasseaux *t t'*.

Il faut, dans le haut des plans automoteurs, contenir quel-

quefois les convois chargés, qui pourraient commencer à descendre avant que le convoi vide fût attaché à la corde, ou avant que les conducteurs de wagons fussent à leur poste. On se sert pour cela de tasseaux mobiles, qui servent au besoin à barrer les voies. Les figures 301 indiquent la disposition de ces tasseaux.

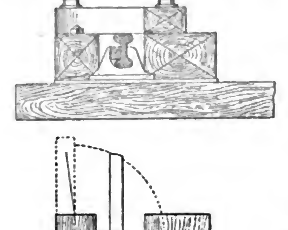




Fig. 301. *Tasseaux d'arrêt.*

Pour faciliter le départ des convois pleins, il convient d'augmenter l'inclinaison des plans automoteurs dans le voisinage du sommet. Souvent aussi on donne au chemin de fer, un peu avant le pied du plan, une pente en sens inverse. Les wagons du convoi montant placés sur cette contre-pente entrent plus facilement en mouvement que s'ils se trouvaient sur une partie de niveau.

Lorsque les plans automoteurs ont une certaine longueur, il faut établir un appareil pour faire parvenir du bas au sommet l'avis que les wagons montant sont attachés à la corde. On emploie pour cela une petite corde ou un fil de fer posé sur des supports dans toute la longueur du plan incliné. On fait mouvoir, avec cette corde ou ce fil de fer, un signal quelconque ou encore on agite une sonnette. On peut aussi se servir d'un disque placé dans le bas du plan, et que l'on tourne dans un sens ou dans l'autre ; mais souvent, dans les temps de brouillards, ce disque pourrait ne pas être aperçu. On peut enfin faire usage du télégraphe électrique, qui est le moyen le plus exact.

Nous avons supposé que le câble employé sur le plan automoteur était discontinu; on pourrait aussi employer un câble sans fin. Il faudrait alors poser trois files de rails dans le bas

comme dans le haut du plan, et se ménager le moyen de donner au câble une certaine tension en rendant l'une des poulies mobile. On pourrait, à cet effet, adopter une disposition analogue à celle que nous décrirons en parlant du plan incliné à machine fixe de Liége.

Les chariots descendants devant, au moment du départ, traîner la corde entière, il convient, pour éviter qu'ils aient alors un effort excessif à exercer, de ne pas donner aux plans automoteurs une longueur trop considérable. En général, si la longueur du chemin à parcourir dépasse 1600 mètres, on la divise en plusieurs plans automoteurs séparés par des paliers de 90 à 100 mètres. C'est ce qu'on a fait au chemin de Hetton, dont nous avons décrit le tracé dans le premier volume, page 120.

La longueur d'un plan automoteur étant donnée, ainsi que le rapport des charges qui le parcourent dans un sens et dans l'autre, le poids, le frottement des cordes et enfin le frottement des chariots, etc., on peut calculer quelle est la limite de pente sur laquelle un certain nombre de chariots pleins pourront remonter un nombre égal de chariots vides.

L'expérience apprend que, pour que quatre chariots chargés pesant ensemble 16 000 kilogrammes puissent remonter quatre chariots vides pesant 4600 kilogrammes en toute saison sur un plan automoteur de 1000 mètres de longueur, la pente doit être au moins de 2 $\frac{1}{2}$ centièmes[1].

M. Michel Chevalier, dans le grand et bel ouvrage qu'il a publié, en 1840 et 1841, sous le titre d'*Histoire des voies de communication aux États-Unis*, décrit un plan automoteur sur lequel on fait monter des trains chargés de charbon au moyen de trains descendants composés de chariots en tôle rem-

1. M. Wood a trouvé par le calcul que sur un plan automoteur de 1600 mètres de longueur dont la pente ne serait que de deux centièmes, neuf chariots chargés remorqueraient un nombre pareil de chariots vides en 400 secondes; mais il fait observer que cette valeur ne pourrait être admise dans la pratique que si tout le système était en parfait état, ce qui n'est pas le cas ordinaire.

plis d'eau. L'eau est fournie au sommet du plan par une source; elle est élevée par une pompe dans un réservoir d'où on la conduit dans les chariots. Les caisses des chariots se vident au bas du plan.

Déjà en 1832, dans un rapport à l'association polytechnique, nous indiquions l'emploi que l'on pourrait faire d'un moyen semblable sur les plans automoteurs dans les termes suivants : « Les écluses d'un canal consomment une quantité d'eau énorme. Une faible partie de cette eau précieuse suffirait pour développer économiquement sur un chemin de fer la force mécanique nécessaire, au moyen de roues à augets, ou, mieux encore, de machines à colonne d'eau. Peut-être aussi se servirait-on avec avantage de chariots que l'on remplirait d'eau au sommet des plans inclinés, que l'on attacherait à la suite des convois en retour à vide, et qui réagiraient par l'intermédiaire de cordes et de treuils sur les convois ascendants ; on laisserait écouler l'eau dans la vallée au pied du plan incliné, et on ramènerait les chariots à vide à la suite des convois ascendants.

« Cette application de l'eau comme force motrice sur les chemins de fer n'a pas encore eu lieu. Mais nous citerons la ligne du canal du Languedoc comme une de celles où l'on eût trouvé de l'avantage à établir un chemin de fer au lieu d'un canal en utilisant la force mécanique de l'eau. »

« Si l'eau ne se trouvait pas en quantité suffisante au sommet des pentes, on pourrait en élever une certaine quantité des parties inférieures assez économiquement au moyen de moulins à vent. Il se pourrait même qu'il y eût plus d'économie, dans certains cas, à élever de l'eau motrice au moyen d'une machine à vapeur de force moyenne, travaillant continuellemont pendant la nuit pour les besoins de la journée, plutôt que d'employer à remorquer les convois directement des machines qui alors doivent développer une grande force à différents moments de la journée. »

Plus tard, M. Robert Stephenson proposait de faire le service de plans automoteurs dans les régions montagneuses de

la Suisse de la même manière ; mais nous pensons que ce système ne saurait trouver son application sur des lignes destinées au transport des voyageurs. En général, les plans automoteurs sont tout à fait exclus des chemins qui ne sont pas consacrés uniquement au transport des marchandises.

Des plans inclinés à machines fixes[1]. — Nous avons déjà eu l'occasion, au chapitre du *Tracé*, d'indiquer que l'usage des machines fixes, comme moteurs sur les chemins de fer, était aujourd'hui assez limité. Parmi les plans inclinés desservis par des machines fixes, celui de Liége à Ans, en Belgique, peut être cité comme un de ceux qui ont été le mieux établis. Nous le décrirons donc comme l'un des meilleurs modèles existants ; mais auparavant, nous dirons quelques mots de l'emploi qui a été fait, par M. Robert Stephenson, de machines fixes, sur un chemin de fer en plaine, placé dans des conditions uniques, celui de Londres à Blackwall.

Ce chemin, construit sur arcades, pour ainsi dire dans l'intérieur même de la ville de Londres, a une longueur de 6300 mètres seulement, et, le nombre des stations sur cette courte distance étant de cinq, on a pensé qu'il ne serait pas possible de faire le service avec des locomotives. Le parcours entre chacune des stations paraissait trop faible pour que ces machines pussent marcher avec une certaine vitesse. Il était également impraticable de remorquer les convois avec des machines fixes en s'arrêtant à chaque station pour déposer des voyageurs ou pour en prendre. M. Robert Stephenson imagina alors d'établir à chacune des extrémités de la ligne une puissante machine fixe, chacune de ces machines faisant tourner deux tambours de grand diamètre en sens contraire l'un de l'autre. Un cordage en fil de fer s'étendait tout le long de la voie, d'un des tambours de l'une des machines placé vis-à-vis

1. Nous ne parlerons dans ce chapitre que des plans inclinés établis dans le système funiculaire. Nous décrirons ceux qui fonctionnent dans le système atmosphérique au chapitre intitulé : *Des nouveaux systèmes de wagons et de locomotion*.

d'une des deux voies, au tambour de l'autre machine placé à l'autre extrémité de la même voie. Ce cordage s'enroulait sur un des tambours et se déroulait sur l'autre. Chacun des wagons qui devaient être traînés de Londres à Blackwall, ou de Blackwall à Londres (fig. 302), et chacun de ceux qui devaient être conduits d'une station à l'autre, ou d'une station à l'extrémité de la ligne, était attaché à l'un des cordages au moyen d'un crochet à pince, d'une construction particulière.

Fig. 302. *Plan incliné de Londres à Blackwall.*

Ainsi, soient L L′ la station de Londres, B B′ celle de Blackwall; soient L B et L′ B′ les deux cordages, soient C D E F H les stations intermédiaires; admettons que le cordage L′ B′ soit complétement enroulé sur le tambour L′, tandis que le cordage L B est enroulé sur le tambour B. Les choses étant dans cet état, on attachait au câble L′ B′, à chacune des stations L C D E F H, autant de wagons qu'il y avait de stations à desservir dans la direction L′ B′ suivant laquelle le convoi allait marcher. Chaque wagon ne contenait que les voyageurs allant à la même station, et les voyageurs des stations les plus éloignées du point de départ se trouvaient en tête du convoi.

Le convoi de Londres étant prêt, ainsi que ceux des stations intermédiaires, le signal en était donné aux deux extrémités au moyen du télégraphe électrique, et les deux machines commençaient à fonctionner. Chacun des wagons portant un conducteur était détaché subitement de la corde un instant avant d'arriver à la station où il devait déposer ses voyageurs, sans que pour cela les autres wagons cessassent de marcher; il passait dans une des voies de garage *c, d, e, f, h, b,* dont l'aiguille était convenablement disposée et

sur laquelle le conducteur l'arrêtait au moyen d'un frein. De cette manière, le wagon ou les wagons placés en tête du convoi à Londres, portant les voyageurs pour Blackwall, arrivaient après avoir laissé en route les wagons postérieurs portant les voyageurs des stations intermédiaires.

Le service se faisait de la même manière en sens contraire de Blackwall à Londres sur l'autre voie.

Les convois partaient de cinq minutes en cinq minutes, comme partaient les omnibus avant l'établissement du chemin de fer. Ce service était très-dispendieux, puisqu'il nécessitait un wagon pour les voyageurs de chaque station, n'y en eût-il qu'un seul, et un conducteur pour chaque wagon · aussi a-t-il été abandonné depuis quelques années pour faire place à un service par locomotives.

Nous avons déjà parlé du tracé des plans inclinés de Liége [1].

Nous avons dit qu'ils sont au nombre de deux, rachetant chacun la même hauteur (55 mètres) au moyen de la même longueur (1980 mètres) et des mêmes pentes convenablement et diversement graduées sur chacun d'eux, le maximum étant de $0^m,30$, le minimum de $0^m,14$.

Ils sont séparés par un palier de 330 mètres, dont 32 dans l'alignement du plan supérieur, 182 en courbe de 350 mètres de rayon et 66 dans l'alignement du plan inférieur. Ces deux alignements forment un angle de 32°. Ils se prolongent également selon deux paliers, l'un au sommet du premier plan, l'autre au pied du second.

Les plans inclinés de Liége sont établis sur toute leur longueur à deux voies, l'une pour la descente, l'autre pour la remonte.

Il y a en outre, au pied de chaque plan, une gare d'évitement pour recevoir les convois qui descendraient avec une trop grande vitesse.

Il existe une gare semblable au sommet du premier, et l'on

1. Voir la description de ces plans, *Annales des ponts et chaussées*, année 1843, p. 129.

y loge les voitures abandonnées sur le plateau supérieur, de peur qu'elles ne soient lancées à la descente sans conducteur.

Ces gares communiquent avec la voie principale par une aiguille mise en jeu à l'aide d'un contrepoids que le garde-excentrique soulève au moment du passage du convoi. En outre, comme mesure de précaution et pour s'opposer aux déraillements, la voie descendante est munie intérieurement de contre-rails en bois.

La circulation des convois s'effectue toujours sur la voie de droite dans le sens du mouvement. La gravité suffit à la descente. On pousse les convois à l'aide d'une locomotive sur la pente, et on les abandonne à leur propre poids, dont toutefois on modère l'action à l'aide de freins convenablement disposés.

A la remonte, le mouvement est déterminé par des machines à vapeur fixes, qui font agir un câble auquel on attache les convois.

Ces machines sont placées sur le palier horizontal. Le bâtiment qui les renferme se trouve au sommet de l'angle des deux alignements; il est rectangulaire, et son grand axe divise cet angle en deux parties égales. Les machines sont à basse pression et construites sur le modèle de celles des bateaux, c'est-à-dire que le balancier, placé sur le sol au niveau de la base des cylindres, reçoit son mouvement de bielles fixées à la tête de la tige du piston et le transmet par une autre bielle à un axe coudé. Elles sont alimentées par six chaudières, de la forme de celles dites à tombeau, et qui présentent dans leur intérieur deux conduits longitudinaux dans lesquels passe la fumée avant de se rendre dans la cheminée. Le bâtiment qui renferme ces chaudières est placé vis-à-vis celui des machines dans la concavité de la courbe de raccordement.

Les machines sont au nombre de quatre; leur force nominale est de 80 chevaux. Elles sont placées d'une manière symétrique autour des deux axes du bâtiment et groupées deux à deux de manière à ne former réellement que deux machines doubles comme celles à deux cylindres des bateaux à vapeur.

Chacune de ces machines doubles agit au moyen de deux manivelles à angle droit sur un arbre moteur horizontal perpendiculaire au grand axe du bâtiment, et, par suite, parallèle à la voie du milieu du palier.

A chaque extrémité des deux grands arbres sont placées les poulies motrices sur lesquelles s'enroulent les câbles de traction. Ces poulies ont $4^{m},80$ de diamètre de centre en centre des gorges. Elles portent chacune cinq gorges et une jante cylindrique destinée à recevoir l'action d'un frein. Elles sont réunies en deux couples, de même que les cylindres à vapeur, mais inversement à ceux-ci ; de sorte que deux poulies d'un même couple sont placées sur deux arbres différents et se trouvent du même côté du grand axe du bâtiment sur une même parallèle à cet axe.

L'un de ces couples sert à la traction sur le plan incliné supérieur, l'autre sur le plan inférieur. A cet effet, un câble sans fin en fil de fer, de $0^{m},05$ de diamètre sur 4800 mètres environ de longueur, se trouve placé selon l'axe des voies montante et descendante de chacun des plans inclinés, soutenu de 10 en 10 mètres par des poulies de $0^{m},35$ de diamètre.

Pour le plan inférieur, par exemple (fig. 303), le câble, arrivé au sommet de la montée, s'infléchit comme la voie, et la suit horizontalement jusqu'à l'origine de la courbe de raccordement ; là il pénètre sous le sol, et par un conduit souterrain arrive sur une poulie de renvoi P de $4^{m},80$ de diamètre placée horizontalement devant le bâtiment des machines, vis-à-vis des poulies motrices et à la hauteur de la partie inférieure de leur circonférence ; il vient alors s'enrouler par-dessous sur la première gorge de la deuxième poulie motrice qu'il embrasse pendant une demi-circonférence, puis il passe dans la première gorge de la première poulie, d'où il s'échappe aussi, après un contact d'une demi-circonférence, pour se diriger sur la deuxième gorge de la seconde poulie, et ainsi de suite. Au sortir de la cinquième gorge de la première poulie, il se trouve à la partie inférieure, et va s'enrouler en dehors et en arrière du bâtiment

des machines sur une poulie de renvoi horizontale R de 7 mètres de diamètre, portée sur un chariot mobile dont nous indiquerons bientôt l'usage. Après quoi il revient parallèlement à sa précédente direction, mais en sens inverse, passe sur une nouvelle poulie de renvoi horizontale P′ de 3^m,50 de diamètre à axe fixe placée à côté de la première ; le câble est ainsi ramené sur l'axe de la voie descendante qu'il parcourt dans toute son étendue comme il a fait déjà de la voie ascendante ; enfin il s'enfonce de nouveau sous le sol à 15 mètres environ du plan incliné, et, s'enroulant sur une dernière poulie de renvoi horizontale dont le diamètre mesure l'écartement des voies d'axe en axe, il se retrouve, selon l'axe de la voie montante, au même point où nous avons commencé à le suivre.



Fig. 303. Plan incliné de Liège.

Le câble du plan supérieur reçoit de la même manière le mouvement du second couple de poulies.

Toutefois, dans ce cas, la machine, au lieu d'agir en tirant de bas en haut le câble de la voie ascendante, tire au contraire de haut en bas celui de la voie descendante qui réagit sur le premier au moyen de la poulie horizontale du sommet.

Le chariot mobile que nous avons mentionné tout à l'heure est destiné à conserver au câble une tension constante : il est porté sur quatre roues montées sur deux essieux, dont le premier porte en outre deux petites poulies de sup-

port destinées à soutenir le câble à la hauteur de la gorge de la poulie de renvoi. Il peut rouler sur un chemin de fer légèrement incliné, et dont la pente tend à l'éloigner constamment des machines; il y est en outre sollicité par un poids de 7000 kilogrammes, qui peut se mouvoir verticalement dans un puits de 30 mètres de profondeur, et auquel il est lié par une forte chaîne en fer.

Il est indispensable, pour éviter un glissement nuisible du câble sur les deux poulies motrices d'un même couple, que celles-ci se meuvent exactement avec la même vitesse. C'est ce qu'on ne saurait obtenir si les deux arbres donnaient à la fois le mouvement. Il importe donc de pouvoir rendre les poulies indépendantes des arbres moteurs. C'est pourquoi chacune d'elles est montée sur un manchon à coulisse muni d'un collier, qui, formant l'écrou de deux vis à extrémités fixes, prend un mouvement de translation quand celles-ci en reçoivent un de rotation, au moyen d'une vis sans fin dont la manivelle est à la disposition du mécanicien.

Quand les deux machines doubles sont en bon état, chacune d'elles est affectée au service particulier d'un plan incliné. Dans ce cas, la poulie droite du premier arbre est embrayée ainsi que la poulie gauche du second. Mais si l'une des machines était en réparation, l'autre suffirait au service : il n'y aurait en effet qu'à débrayer complétement les deux poulies du premier arbre et à embrayer successivement celles du second. On pourrait même laisser celles-ci constamment embrayées, ce qui n'aurait d'autre inconvénient que de faire marcher un câble sans charge.

Si l'on se rappelle les circonstances des passages successifs du câble de la seconde à la première poulie d'un même couple, on comprendra que, pour qu'une telle alternance puisse se produire sans obliquité du câble, il faut que les parties supérieures des gorges de même rang se correspondent dans les deux poulies, et qu'au contraire les parties inférieures soient en avance d'un rang dans la seconde. Chaque poulie doit donc

avoir, par rapport à la verticale, une inclinaison moitié de leur inclinaison mutuelle, c'est-à-dire mesurée par le rapport de la demi-distance des gorges ($0^m,05$) au diamètre des poulies ($4^m,80$). Telle est par suite l'inclinaison de chaque arbre, de chaque machine double par rapport à l'horizontale. Cette disposition ne présente d'autre inconvénient que la difficulté de la pose. Chaque machine est munie d'un régulateur à force centrifuge pour arriver, autant que possible, à l'uniformité du mouvement, si importante dans la manœuvre des plans inclinés, tant pour diminuer la fatigue et l'usure de la corde que pour épargner aux voyageurs le désagrément d'un mouvement saccadé.

Chaque arbre moteur porte également une vis sans fin qui, à l'aide d'une roue dentée, communique le mouvement à un axe horizontal qui lui-même le transmet par l'intermédiaire d'engrenages à l'aiguille d'un cadran horizontal, au moyen duquel on connaît à chaque instant la position du convoi sur le plan incliné.

Les freins des poulies motrices se composent d'une forte pièce de bois demi-circulaire de $0^m,16$ de largeur sur $0^m,12$ d'épaisseur, fixée à un collier en fer : il embrasse à peu près la demi-circonférence de la poulie. Les deux freins d'un même couple de poulies motrices sont liés à un seul levier placé entre ces deux poulies et correspondant à une manivelle à la portée du mécanicien.

On extrait l'eau d'alimentation des chaudières d'un puits de 30 mètres de profondeur au moyen d'une petite machine spéciale de huit chevaux ; mais pour économiser, autant que possible, la force consacrée à cet usage, on recueille l'eau des condenseurs dans de grands bassins, d'où elle retourne ensuite aux chaudières.

Il est urgent de pouvoir donner rapidement des signaux d'une extrémité à l'autre des plans inclinés. L'appareil que l'on emploie pour y parvenir se compose d'une cloche verticale en tôle suspendue par une courroie à un axe horizontal autour duquel s'enroule en sens contraire une autre courroie qui supporte un

contrepoids servant à équilibrer la cloche, de sorte que celle-ci s'élève ou s'abaisse sans difficulté par suite d'un mouvement de rotation imprimé à l'axe. Cette cloche plonge en partie dans un réservoir plein d'eau ; elle couvre l'une des extrémités d'un tube en forme de siphon renversé qui, s'élevant d'une part au-dessus du niveau de l'eau, de l'autre monte verticalement le long de la paroi extérieure de la cloche jusqu'au-dessus de la plate-forme qui supporte l'axe et la manivelle avec lesquels on met la cloche en mouvement. A côté de ce tube s'en trouve un autre qui se prolonge souterrainement jusqu'au point où le signal doit être transmis. Les orifices de ces deux tubes sont couverts par un tiroir analogue à celui qui règle la distribution de la vapeur dans les machines. Ce tiroir, mû par l'intermédiaire d'un levier tournant à frottement doux autour de l'axe qui sert à mouvoir la cloche, peut, selon qu'on abaisse ou soulève celle-ci, mettre en communication les deux tubes entre eux, ou le tube du réservoir avec l'air extérieur et le tube d'avertissement avec un sifflet.

Dans le premier cas, l'air de la cloche étant comprimé, va par le tube souterrain donner le signal à l'endroit voulu ; dans le second, l'air rentre dans la cloche par le tube du réservoir, et le tube d'avertissement sert à recevoir un contre-signal attestant que le premier a été entendu.

Quatre appareils de cette espèce sont placés aux quatre extrémités des deux plans inclinés, et établissent la correspondance de ces extrémités entre elles avec le mécanicien. A cet effet deux tubes parcourent toute la longueur de chacun des plans inclinés. On réunit les appareils du pied et du sommet d'un même plan, de sorte que les signaux y cheminent tour à tour dans les deux sens. L'autre établit simplement la communication entre le pied du plan inférieur ou le sommet du plan supérieur, et un sifflet situé au milieu du palier, et dont le seul but est de donner directement au mécanicien, placé sous le péristyle du bâtiment des machines, l'ordre de commencer ou d'arrêter la marche.

Il est probable que cet appareil très-ingénieux a été remplacé par le télégraphe électrique, depuis que l'emploi de ce nouveau système s'est répandu.

Il est indispensable que chaque convoi ait avec lui un frein puissant, tant pour modérer sa vitesse, lorsqu'il descend par son propre poids, que pour prévenir les accidents en cas de rupture de câble à la remonte.

On a construit à cet effet des wagons spéciaux à six roues et de 6 mètres de longueur qui portent en même temps la pince d'accrochage pour la remonte. Le frein adapté à ces grands wagons agit directement sur les rails, et non sur les roues, comme dans le cas ordinaire. Nous l'avons décrit et représenté page 176.

Enfin, d'après les règlements concernant les convois de voyageurs, la moitié des voitures doivent être munies de freins ordinaires. Ces freins suffiraient même généralement à la descente, et l'on n'en exige d'autres que la nuit ou pour les convois de plus de 8 wagons. Néanmoins, comme il monte à peu près autant de convois qu'il en descend, et qu'à la remonte l'emploi des deux wagons-freins, l'un en tête, l'autre en queue, a été jugé indispensable, il faut bien les faire descendre, et dans ce cas, on les place toujours en avant.

La pince d'accrochage portée par le wagon-frein se compose de deux mâchoires : l'une, fixe, est un peu supérieure au câble; l'autre, mobile, est un peu inférieure. On place d'abord le câble sur cette dernière, que l'on relève ensuite au moyen de leviers en la serrant contre la première. Elle est maintenue dans sa position définitive au moyen d'un déclic qu'il suffit ensuite de lâcher pour que la pince abandonne le câble.

La section transversale des deux mâchoires réunies est justement celle du câble; mais sa section longitudinale est un arc de cercle dont la concavité est tournée du côté du sol. Le câble affecte conséquemment cette courbure lorsqu'il est serré par la pince. Cette disposition augmente le frottement du câble et des mâchoires, seule force qui produise l'ascen-

sion. Certains wagons-freins sont munis de deux pinces semblables.

La durée du parcours des convois, sur chaque plan incliné, est en moyenne de six minutes, tant à la montée qu'à la descente, ce qui représente une vitesse d'environ 6 mètres par seconde et de 20 kilomètres à l'heure. Ce résultat correspond, pour la remonte, à 24 tours de poulie par minute, et par conséquent à 24 coups de piston. A la descente, la plus grande vitesse que pourrait prendre un convoi de 60 tonnes, maximum de la charge des convois, serait de 139 kilomètres à l'heure; il n'y a donc qu'à la modérer suffisamment par les freins pour arriver à un parcours régulier de 360 mètres par minute.

En ajoutant au temps du parcours des deux plans le moment d'arrêt qui a toujours lieu sur le palier intermédiaire, et qui varie de trois à six minutes, la durée du parcours total est de 15 à 18 minutes. Mais en remarquant que, par suite de la division en deux plans, et de la disposition qui affecte une machine au service de chacun d'eux, on peut faire monter à un convoi le plan inférieur aussitôt que le convoi précédent a commencé son ascension sur le plan supérieur; et de même, pour la descente, on sera conduit à ne compter plus que dix minutes d'intervalle entre deux départs successifs. On voit qu'il serait possible de remonter ainsi 6 convois dans une heure, et facilement 70 par jour, ce qui représente un passage d'au moins 560 voitures ou wagons chargés.

Ce traîneau est composé d'un châssis rectangulaire dont les deux longuerines sont garnies en dessous de plates-bandes en fer à rebords. Ces plates-bandes reposent sur les rails. Aux deux longuerines sont aussi fixés deux épais plateaux en bois s'élevant verticalement au-dessus du rail et évidés circulairement du côté du convoi. Cet appareil, étant très-léger, n'oppose qu'une très-faible résistance au mouvement ascendant du convoi; mais si la corde vient à casser, le dernier wagon reculant, les roues de derrière de ce wagon viennent

se loger dans les entailles circulaires des plateaux. Le frottement des plates-bandes devenant alors considérable, arrête graduellement le convoi. Ce traîneau ne peut malheureusement être d'aucun usage à la descente.

Aux États-Unis on se sert de plans inclinés pour remplacer, sur les canaux, les écluses, toutes les fois qu'il devient nécessaire de racheter des chutes considérables. Les bateaux placés sur des chariots, auxquels on les amarre, sont alors remontés tout chargés sur ces plans inclinés au moyen de mécanismes qui sont mis en mouvement à l'aide de l'eau du canal lui-même.

Un des plus beaux exemples de l'emploi de ces plans inclinés est celui que nous offre le canal Morris, décrit par M. Michel Chevalier. Ce canal, pour rejoindre le Passaic, affluent de l'Hudson, franchit un contrefort élevé de $231^{m},80$ au-dessus de l'une des extrémités du canal et de $278^{m},77$ au-dessus de l'autre. Il offre ainsi une pente et contre-pente de $510^{m},57$.

On trouve encore des plans inclinés à machines fixes ou automoteurs, remplaçant des écluses dans les grandes mines de charbon des environs de Manchester et en Silésie.

La longueur des plans inclinés n'est pas limitée comme celle des plans automoteurs. Elle est souvent considérable. La pente peut en être très-roide ; toutefois il ne conviendrait pas de dépasser celle de 3 à 4 centimètres, si on voulait y effectuer un transport de voyageurs. Avec une pente plus forte, la rupture d'un câble peut occasionner de très-graves accidents.

CHAPITRE XII.

DES MACHINES LOCOMOTIVES.

HISTORIQUE DES MACHINES.

La première machine locomotive qui ait paru sur un chemin de fer sortait des ateliers de MM. Trewithick et Vivian. On essaya cette machine en 1804, sur le chemin de fer de Merthyr-Tydwill dans le pays de Galles. Elle ne remorquait que 10 tonnes de poids utile à la vitesse de 8 kilomètres. MM. Trewithick et Vivian avaient pris dès 1802 un brevet pour l'application de la vapeur à la locomotion sur les routes ordinaires. Ayant rencontré de nombreuses difficultés, ils avaient bientôt abandonné les routes ordinaires pour les chemins de fer; mais le peu d'adhérence des roues sur les rails paraissait opposer un obstacle invincible à l'emploi de machines puissantes ; c'est ce qui conduisit d'abord à proposer de pratiquer des rainures transversales sur les jantes des roues ou de les garnir de clous, puis à placer au milieu de la machine une roue dentée s'engrenant avec une crémaillère placée entre les deux files de rails (fig. 304). Ces machines, inventées en 1811 par M. Blenkinsop, n'avaient que le nom de commun avec les machines actuelles. La chaudière, construite dans le système d'Oliver Evans, était cylindrique et traversée

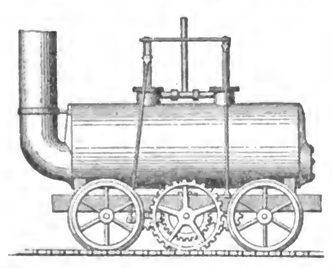


Fig. 304. *Machine à crémaillère de M. Blenkinsop.*

dans toute sa longueur par un gros tube qui plongeait dans le liquide, et à l'extrémité duquel se trouvait le foyer. La combustion n'y était activée que par les moyens ordinaires, c'est-à-dire par une grande cheminée faisant suite au gros tube. Les cylindres étaient verticaux, les roues étaient en fonte, et le châssis n'était pas suspendu sur ressorts. Sur quelques chemins, on remplaça la roue dentée et la crémaillère par des jambes mobiles qui se soulevaient l'une après l'autre derrière la machine, et qui, reposant sur le sol, servaient de points d'appui à la tige d'un piston glissant dans un cylindre horizontal (fig. 305), machine de Brunton, 1813).

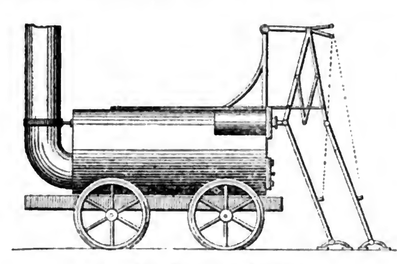


Fig. 305. *Machine de Brunton.*

Bientôt après, M. Blackett fit faire un grand pas au système de la locomotion. Il détermina par expérience l'adhérence des roues sur les rails, et prouva qu'elle était suffisante pour permettre aux machines de se mouvoir sur les chemins de fer sensiblement de niveau ou d'une faible inclinaison.

En 1814, Georges Stephenson construisit une nouvelle machine, dans laquelle, pour utiliser l'adhérence de toutes les roues de la locomotive, il avait mis les trois essieux en relation au moyen de roues dentées et d'une chaîne sans fin, comme les figures 306 et 307 l'indiquent. M. Vood, dans son *Traité des chemins de fer*, dit même que les premières roues du tender étaient unies aux dernières de la locomotive, comme dans certaines machines essayées longtemps après au Sommering; mais cette disposition, qui n'est pas représentée dans la coupe qu'il donne de cette machine, fut bientôt abandonnée; on reconnut que cette complication était inutile.

La chaudière, dans cette machine, était suspendue d'une manière fort ingénieuse au moyen de petits pistons pressés de haut en bas par le liquide et la vapeur. La charge traînée sur un chemin de faible inclinaison n'était que de 30 tonnes, et la vitesse de 6500 mètres par heure.

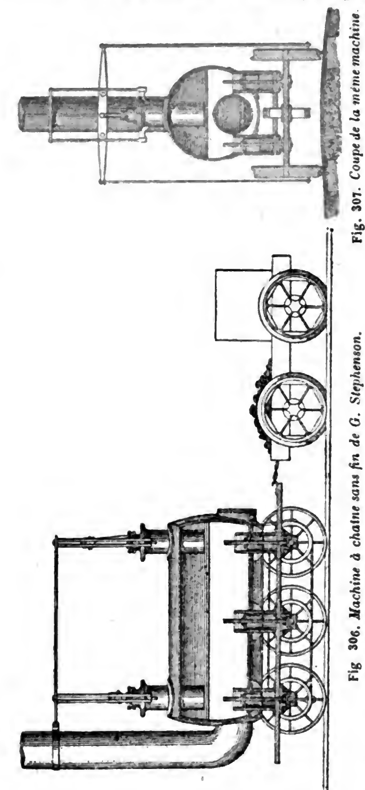


Fig. 307. *Coupe de la même machine.*

Fig. 306. *Machine à chaîne sans fin de G. Stephenson.*

A cette machine, M. Stephenson substitua, en 1815, celle représentée fig. 308, et dans laquelle, M. Hakworth remplaça, en 1825, la chaîne sans fin par une bielle d'accouplement.

De 1815 à 1829, l'art de construire les locomotives resta à peu près stationnaire; mais l'année 1829 sera à jamais mémorable par l'apparition de la première machine à chaudière tubulaire avec tirage au moyen du jet de vapeur dans la cheminée. Ce fut au concours institué par la compagnie de Liverpool à Manchester que l'on vit fonctionner cette locomotive. Sa substitution

aux anciennes machines opéra une révolution dans l'industrie des chemins de fer. Les machines à chaudière tubulaire produisant, toutes légères qu'elles sont, une quantité de vapeur plus grande que les autres, traînèrent des charges beaucoup plus lourdes et à des vitesses qui avaient été jusqu'alors jugées impossibles même par les hommes les plus expérimentés. Les chemins de fer devinrent ainsi propres au service des voyageurs, et purent même faire concurrence aux voies navigables pour le transport des marchandises. En peu d'années, ils se multiplièrent à l'infini, et le temps n'est pas éloigné où ils remplaceront dans tous les pays riches les routes de premier ordre.

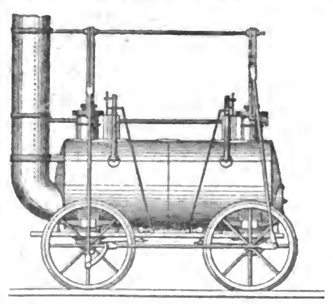


Fig. 308. *Machine à bielle d'accouplement de Stephenson.*

Depuis 1829, rien n'a été changé au principe de construction des locomotives. Aujourd'hui comme à cette époque, la chaudière des locomotives est tubulaire, et le tirage est produit par le jet de vapeur. Ces machines sont cependant beaucoup plus puissantes, ce qui tient à l'accroissement de leurs dimensions et à une plus grande perfection dans leurs détails d'exécution.

Le tableau suivant indique les progrès des locomotives à partir de cette époque remarquable

TABLEAU

INDIQUANT LES ACCROISSEMENTS SUCCESSIFS DE POIDS, PUISSANCE D'ÉVAPORATION, ETC., DANS LES LOCOMOTIVES DEPUIS TRENTE ANS.

MACHINES DIVERSES EMPLOYÉES SUR LES CHEMINS de fer de 1825 à 1855.	POIDS DE LA MACHINE, y compris l'eau dans la chaudière.	CHARGE BRUTE TRAÎNÉE, y compris le tender[2].	VITESSE A L'HEURE en marche.	POIDS DE L'EAU évaporée par heure.	COMBUSTIBLE BRULÉ pour transporter une tonne à 1 kilomètre.	SURFACE de chauffe Par rayonnement.	Par contact.
	Tonn.	Tonn.	kilom.	kilog.	kilog.	m. c.	m. c.
1825. — Anciennes locomotives	6 à 7	40	9,65	450	0,450	1,06	2,76
1825. — Fusée, première machine tubulaire.	4 30	38	25,00	810	0,200	1,86	10,94
1834. — Fire-Fly.	» »	40	43,30	1,978	0,210	» »	» »
1838. — Harvey-Combe.	» »	50	51,00	2,300	0,170	» »	» »
1855. — Mixtes, de l'Est.	22 40	120	45,00	2,900	0,054	5.06	67,15
— De moyenne vitesse, de l'Est.	24 25	100	55,00	3,000	0, 80	6,34	71,83
— De grande vitesse, Crampton, de l'Est. .	27 80	88	80,00	3,200	0,080	8,65	88,92
— Petite vitesse, marchandises, de l'Est. . . .	27 30	315	30,00	3,200	0,033	7,25	93,24
— Machine Engerth.	56[1]00	700	23,00	» »	» »	155	

1. Y compris le tender, qui n'est pas distinct de la machine.
2. Nous indiquons la charge traînée sur un chemin dont la pente peut s'élever jusqu'à 5 millimètres.

D'après M. Gooch, ingénieur du chemin de Londres à Bristol, la puissance d'évaporation des machines de la voie large atteindrait 8000 kilogrammes. Ce chiffre semble exagéré.

Le poids de l'eau évaporée varie, du reste, entre des limites assez écartées, suivant la manière dont on fait travailler les

machines et la vitesse. Nous supposons le cas du travail habituel des machines avec la vitesse indiquée au tableau. Les machines Crampton, dans d'autres conditions, évaporent jusqu'à 5700 kilos d'eau par heure.

Tout en augmentant la puissance des locomotives, on en a réduit les frais d'entretien. Ainsi, une machine qui, en 1835, ne pouvait pas parcourir plus de 30 000 kilomètres sans entrer en grandes réparations, en parcourt aujourd'hui 150 000.

La première application de la chaudière tubulaire paraît avoir été faite en 1828, sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, par M. Marc Séguin, à l'époque même du concours qui eut lieu sur le chemin de Liverpool. Le tirage dans les machines sorties des mains de ce constructeur, produit par un simple ventilateur, était malheureusement insuffisant. On attribue à Georges Stephenson l'honneur d'avoir le premier employé pour ce tirage le jet de vapeur dont les effets sont si efficaces, et ce fut des ateliers de son fils Robert que sortit la Fusée (the Rocket) (fig. 309), qui remporta le prix au concours de Liverpool. On assure que M. Booth, secrétaire général de la compagnie de Liverpool à Manchester, a conçu l'idée de la chaudière tubulaire et l'a appliquée sur le chemin de Liverpool en même temps que Marc Séguin l'appliquait sur celui de Saint-Étienne.



Fig. 309. *La Fusée de R. Stephenson.*

Quoi qu'il en soit, adoptant l'ordre chronologique, nous citerons parmi les ingénieurs ou industriels qui ont le plus

contribué au progrès des machines locomotives, MM. Trevitick et Vivian, Blenkinsop, Brunton, Blackett, Georges Stephenson, Hackworth, Nicolas Wood, Marc Séguin, Booth, Robert Stephenson, Sharp Robert, Crampton et Engerth ; mais nous croyons juste de mentionner tout spécialement, parmi ces hommes de mérite, les deux Stephenson.

Georges Stephenson n'a pas seulement construit les premières locomotives faisant un service passable sur les chemins de fer, et appliqué à ces machines le mode de tirage qui a rendu possible l'emploi de la chaudière tubulaire, il a perfectionné la lampe du mineur, il a, le premier, adopté les rails en fer malléable, construit le chemin de Darlington pour le transport du charbon à de grandes distances, et il a acquis un titre impérissable à la reconnaissance de la postérité, en établissant, malgré d'immenses difficultés d'exécution et la plus vive opposition de la part du public, le premier chemin de fer à grande vitesse, celui de Liverpool à Manchester.

Robert, après avoir fabriqué la machine à laquelle fut décerné le prix au concours de Liverpool, augmenta le premier la puissance des locomotives, apporta dans leur construction plusieurs améliorations importantes, telles que la coulisse adoptée généralement pour varier la détente ; attacha son nom à la construction d'un grand nombre de lignes importantes non-seulement en Angleterre, mais encore dans la plupart des pays étrangers, en Afrique, en Amérique et en Asie, aussi bien qu'en Europe, et enfin conçut le projet de ce magnifique pont tubulaire en tôle de Menai, sur le modèle duquel tant d'autres ont été depuis lors établis.

Ce qu'il faut dire aussi après avoir parlé des travaux de Georges et de Robert Stephenson, c'est leur vie si curieuse, si pleine d'enseignements. Georges n'était qu'un simple ouvrier mineur, mais la veste du mineur couvrait un homme de génie. Georges Stephenson finit, non sans peine, par gagner la confiance de ses chefs, et dès lors une brillante carrière lui

fut ouverte; mais s'il avait réussi sans instruction, par la puissance seule de son intelligence, il avait éprouvé combien le défaut de certaines connaissances scientifiques lui avait été nuisible, et il travaillait la nuit à raccommoder des montres, afin de gagner quelque argent pour instruire son fils Robert. Heureux père, il fut noblement récompensé, car il eut le bonheur de voir Robert atteindre, si ce n'est dépasser sa propre réputation.

Aujourd'hui Robert Stephenson est le premier des ingénieurs de chemins de fer et le premier des constructeurs de locomotives. Il est membre du parlement anglais et puissamment riche; mais il se glorifie toujours d'être le fils de Georges, l'ouvrier mineur qui raccommodait des montres afin de pouvoir l'instruire, de Georges auquel la ville de Liverpool reconnaissante a élevé une statue.

DESCRIPTION GÉNÉRALE.

Les locomotives sont des machines à vapeur accompagnées de leur chaudière, de leur foyer et de leur cheminée, montés sur un chariot spécial placé en tête du train qu'elles remorquent.

L'ingénieur qui s'occupe de l'étude des locomotives a deux qualités principales à rechercher, la *puissance* et la *légèreté ;* mais elles ne suffisent pas : il faut encore que ces machines qui traînent à grande vitesse de lourds convois de voyageurs présentent toutes les garanties possibles de sécurité ; il faut enfin qu'elles marchent avec économie et régularité.

Toutes les locomotives présentent certaines dispositions d'ensemble que nous allons d'abord décrire.

Une locomotive (fig. 310) se compose des trois parties principales suivantes :

1° Une chaudière munie de son foyer et de sa cheminée ;

2° Un mécanisme moteur composé de cylindres, pistons, bielles et manivelles ;

3° Un train de voiture consistant en un grand cadre rectangulaire (*châssis*) porté sur roues et essieux.

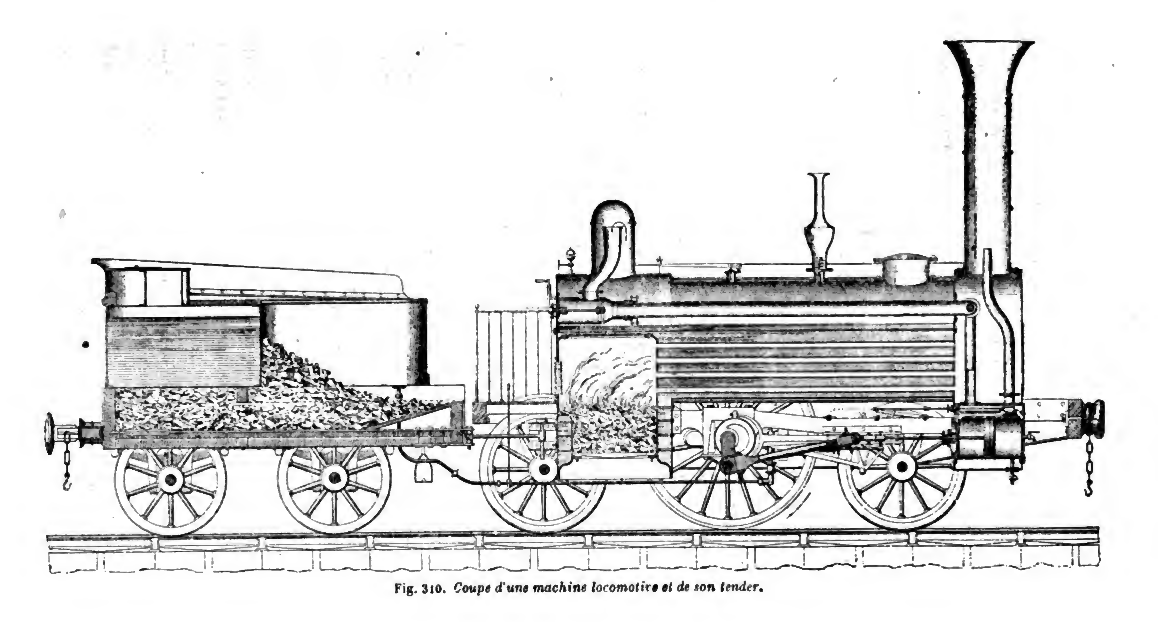


Fig. 310. *Coupe d'une machine locomotive et de son tender.*

Dans les anciennes machines, le mécanisme était fixé à la chaudière, laquelle était à son tour solidement attachée au châssis. Actuellement le mécanisme est directement fixé à ce châssis, qui supporte également la chaudière. Nous verrons plus loin les avantages qui résultent de cette disposition.

La vapeur agit sur les pistons et leur communique un mouvement de va-et-vient. Celui-ci est transformé en un mouvement de rotation de l'un des essieux de la machine par l'intermédiaire des bielles et des manivelles. Les roues qui sont fixées sur cet essieu, dit *essieu moteur*, ne peuvent tourner que si elles roulent sur la voie en entraînant dans leur mouvement la machine et le train auquel elle est attelée, ou si elles glissent sur les rails. Ce dernier effet ne se produit que si la résistance que rencontrent les roues à la surface des rails, résistance que l'on nomme *adhérence*, est insuffisante[1]. L'adhérence dépend principalement du poids de la machine, ou du moins de la pression supportée par les rails sous les roues motrices et de l'état de l'atmosphère; mais il ne faudrait pas en conclure que l'on ait été conduit à donner aux locomotives le poids énorme qu'elles atteignent actuellement par la nécessité d'empêcher le glissement; bien au contraire, tous les efforts des hommes qui s'occupent de la construction de ces machines tendent à les rendre aussi légères que le permettent la prudence et l'économie de l'entretien du service.

Nous avons cru devoir insister tout d'abord sur ce fait peu connu des personnes étrangères à l'industrie des chemins de fer. On voit surgir tous les jours des systèmes souvent fort ingénieux, dont le but est d'obvier au manque d'adhérence des locomotives, tandis que leur poids seul, poids qui est déter-

1. On entend généralement par *adhérence* la force qui s'oppose à la séparation de deux corps en contact. — Dans les machines locomotives l'adhérence est la résistance au glissement; elle est égale au frottement de glissement des roues sur les rails. Cette expression est vicieuse en ce qu'elle peut jeter de la confusion dans les idées; mais elle est consacrée par l'usage.

miné par les effets qu'on veut leur faire produire, excède généralement, sauf de rares exceptions, celui qui est nécessaire pour produire cette adhérence.

La chaudière des machines locomotives diffère essentiellement des chaudières ordinairement employées pour les machines fixes. Elle est du système tubulaire, qui seul réalise le but qu'on se propose, savoir, de produire la plus grande quantité de vapeur possible avec un appareil de poids et de dimensions fort limités.

Elle se compose de trois parties principales : la *boîte à feu*, qui contient le foyer; le *corps cylindrique*, qui entoure les tubes, et la *boîte à fumée* surmontée de la cheminée.

Boite à feu. — La *boîte à feu* (A fig. 311), située à l'arrière de la machine, comprend le *foyer* et *son enveloppe*. Le foyer est une capacité de forme rectangulaire fermée à sa partie supérieure par une paroi plane qu'on appelle *ciel du foyer*. Sa surface intérieure est en contact avec le combustible qui est disposé sur la grille G ; sa surface extérieure est entourée d'une couche d'eau de 7 à 10 centimètres d'épaisseur contenue dans une enveloppe qui suit les contours du foyer jusqu'à la hauteur du ciel. Au delà cette enveloppe est surmontée d'un dôme semi-cylindrique ou pyramidal.

Toutes ces parois planes résistent mal à la pression de la vapeur; c'est pourquoi il faut les consolider par de nombreuses armatures dont nous décrirons plus loin la disposition. Dans certaines machines anglaises et américaines, on a donné au foyer la forme cylindrique; dans ce cas, le ciel et le dôme sont semi-sphériques, les armatures ne sont plus indispensables; mais à volume égal, la surface de chauffe est considérablement diminuée.

Corps cylindrique. — Dans le *corps cylindrique* K (fig. 311), nous distinguons deux parties principales : les *tubes* et leur enveloppe. Les tubes, au nombre de 100 à 300, sont de petits cylindres de 30 à 50 millimètres de diamètre intérieur, dont la longueur varie de $2^{m},40$ à 4 mètres. Ils sont fixés par l'une

de leurs extrémités dans la paroi antérieure ou *plaque tubulaire* du foyer et sont traversés dans toute leur longueur par

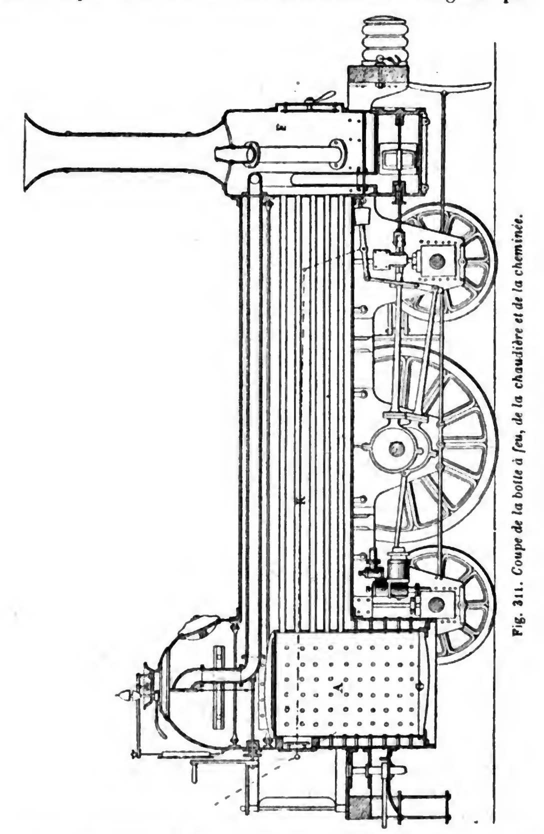


Fig. 311. Coupe de la boîte à feu, de la chaudière et de la cheminée.

les produits gazeux de la combustion. Les tubes sont contenus dans un grand cylindre en tôle qui est le *corps cylindrique*

proprement dit ; celui-ci communique librement avec l'espace qui sépare le foyer de son enveloppe ; son but est de contenir l'eau qui baigne les tubes et de servir de réservoir à la vapeur à mesure qu'elle se forme. Les extrémités antérieures des tubes et du corps cylindrique sont fixées sur une forte plaque de tôle, dite *plaque tubulaire de la boîte à fumée*.

Boite à fumée. — La *boîte à fumée* F (fig. 311) est la capacité dans laquelle se rendent les produits de la combustion après avoir traversé les tubes. Sa forme est très-variable, mais elle porte toujours à sa partie supérieure la cheminée par laquelle la fumée s'échappe dans l'atmosphère.

La surface du foyer reçoit directement l'action du combustible ; on lui donne le nom de *surface de chauffe par rayonnement*. Celle des tubes n'étant chauffée que par les gaz qui les traversent, est dite *surface de chauffe par contact*.

Dans les machines ordinaires, c'est une cheminée d'une grande hauteur qui produit le tirage en se remplissant d'air chaud. Il n'en est pas de même dans les machines locomotives. La hauteur de leur cheminée est trop faible et la résistance qu'éprouve l'air en traversant les tubes trop grande, pour que les moyens ordinaires de tirage soient suffisants. Dans ces machines, la principale cause du tirage est la vapeur qui, après avoir agi sur les pistons, s'échappe avec rapidité dans la cheminée et entraîne mécaniquement à sa suite une grande quantité d'air [1].

Il en résulte que les machines locomotives ne peuvent être ni à condensation ni à basse pression. Elles marchent ordinairement sous la pression de six à sept atmosphères.

La chaudière tubulaire, le tirage par le jet de va-

1. Ce phénomène est analogue à celui qui se produit dans les *trompes*, sorte de soufflets fréquemment employés dans les Alpes et les Pyrénées, dans lesquels l'air est entraîné par le mouvement d'une colonne d'eau tombant d'une grande hauteur. Il est dû à l'élargissement brusque de la veine fluide qui passe sans intermédiaire d'une faible section à une section plus grande. L'étude des effets qui se produisent dans ces circonstances constitue une partie très-intéressante et très-féconde en applications de l'hydraulique.

peur, sont deux traits caractéristiques des machines locomotives.

La chaudière tubulaire avec le tirage par le jet de vapeur est adoptée aujourd'hui sur tous les chemins de fer du monde. Sans elle on ne pourrait réaliser cette vitesse qui a placé les chemins de fer au premier rang parmi les voies de communication.

On comprend aisément que, dans les chaudières tubulaires, le courant d'air chaud se trouvant en contact avec les parois à chauffer par un beaucoup plus grand nombre de points que dans les chaudières chauffées extérieurement, la quantité d'eau évaporée, et par conséquent la quantité de vapeur produite, doit être plus considérable. C'est précisément cette grande production de vapeur dans un certain temps qui, pouvant produire un travail mécanique considérable dans ce même laps de temps, permet de traîner de lourdes charges à de grandes vitesses. Les anciennes chaudières, qui ne contenaient qu'un tube de grand diamètre, produisaient peu de vapeur ; aussi ne pouvait on guère, en traînant une charge raisonnable, dépasser la vitesse de 12 à 16 kilomètres par heure. Actuellement on atteint sans difficulté des vitesses de 80 à 90 kilomètres.

La faculté que possèdent les machines locomotives de produire une grande quantité de vapeur, eu égard à leur faible volume et à leur faible poids, ne tient pas uniquement à l'étendue de leur surface de chauffe, mais encore à la grande puissance vaporisatrice de chaque unité de cette surface. Ainsi l'on a reconnu que dans les machines locomotives, le mètre carré de surface de chauffe produit de deux à trois fois autant de vapeur que dans les chaudières des machines fixes, et que la même quantité de combustible produit bien plus de vapeur dans une chaudière tubulaire que dans une chaudière à fourneau extérieur. Cela tient évidemment à la division du courant gazeux produit par la combustion, en un grand nombre de courants partiels qui se refroidissent plus promptement et plus complétement.

Outre l'avantage précieux de produire une très-grande quantité de vapeur dans un certain temps, les machines locomotives jouissent de la propriété remarquable d'être à peu près INEXPLOSIBLES. Du moins n'y a-t-il que peu d'exemples de machines qui aient éclaté, sur plusieurs milliers qui ont été construites depuis une dizaine d'années ; et encore cela tenait-il à ce que les fabricants avaient négligé de consolider d'une manière satisfaisante les parties de la boîte à feu dont la forme réclamait de puissantes armatures, ou à ce que ces chaudières étaient affaiblies par leur long service [1].

Cette propriété des chaudières de locomotives d'être à peu près inexplosibles tient tout à la fois à leur mode de construction et au mode de tirage. Le dôme au-dessus du foyer et les parois autour de ce foyer étant convenablement consolidés, ce sont les tubes qui doivent céder les premiers quand il y a excès de pression. Effectivement ces tubes, dans les machines les mieux construites, crèvent assez souvent quand ils sont amincis par l'usage, mais il n'y a pas explosion.

L'eau, projetée dans le foyer par la pression de la vapeur, diminue aussitôt l'activité du feu ; il suffit alors de chasser dans chaque bout du tube crevé un tampon en bois blanc que l'eau de la chaudière empêche de brûler, et l'on peut continuer à se servir de la machine sans le moindre danger jusqu'au moment où il est possible de remplacer les tubes endommagés.

Le mode de tirage contribue aussi à préserver de l'explosion, car le tirage par la vapeur cessant aussitôt que la machine est arrêtée, la production de vapeur se trouve considérablement réduite, et la vapeur ne peut s'amasser dans la chaudière de manière à la faire éclater. Lorsqu'au contraire le tirage est actif, c'est que la machine marche à une grande vitesse ; elle dépense alors la vapeur à mesure qu'elle se forme.

1. Le petit nombre de locomotives qui avaient fait explosion étaient à l'état de repos. Une machine provenant d'un chemin des environs de Paris et déjà fatiguée par le service a éclaté tout récemment en marche sur le chemin de Bordeaux à Bayonne.

Dans les machines fixes, les choses se passent d'une tout autre manière. Le tirage de la cheminée étant indépendant de la dépense de vapeur, il peut se produire dans certains moments, par la négligence du chauffeur, une grande quantité de vapeur qui, n'étant pas employée, doit être débitée par les soupapes, et qui cause l'explosion si celles-ci ne fonctionnent pas convenablement.

Réservoir de vapeur. — L'eau ne remplit pas entièrement l'enveloppe du foyer et des tubes ; elle laisse un certain espace entre son niveau et la partie supérieure de cette enveloppe. Cet espace, dans lequel se rend la vapeur à mesure qu'elle se forme, se nomme le *réservoir de vapeur*. Il est important que cet espace soit aussi grand que possible, afin d'éviter que la vapeur entraîne avec elle de l'eau non vaporisée; on cherche à l'augmenter, soit en donnant au dôme de la boîte à feu des dimensions considérables, soit en ajoutant en un point quelconque un dôme additionnel qu'on appelle *dôme de prise de vapeur*.

Depuis quelque temps on renonce à cette dernière disposition, qui ne remplit que très-imparfaitement le but qu'on se propose, et l'on préfère augmenter le diamètre du corps cylindrique.

Prise de vapeur. — La vapeur se rend du réservoir dans les cylindres par un tube spécial de grand diamètre. Ce tube, nommé *tube éducteur* ou *tube de prise de vapeur*, présente deux dispositions très-différentes. Dans les chaudières qui ont un dôme de prise de vapeur, il part de la partie la plus élevée de ce dôme, descend verticalement jusqu'à une petite distance de la surface de l'eau, se recourbe à angle droit et devient horizontal. Il reste ainsi horizontal pendant tout son trajet dans le corps de la chaudière ; puis, arrivé à la plaque tubulaire de la boîte à fumée, il traverse cette plaque, se recourbe de nouveau à angle droit, redevient vertical et se subdivise en deux branches qui vont aboutir aux boîtes à vapeur attenant aux cylindres. Un mécanisme particulier, qu'on nomme *régulateur*, fait partie de cette conduite; il sert à modérer ou à arrêter

complétement le mouvement de la vapeur qui se rend dans les cylindres.

Quand il n'y a pas de dôme, la vapeur est prise simultanément dans toute la longueur de la chaudière par un tube horizontal placé aussi haut que possible. A cet effet, ce tube est percé, suivant sa génératrice la plus élevée, de petits orifices longs et étroits, de sorte qu'il présente d'un bout à l'autre des fentes presque continues dans lesquelles la vapeur se précipite à mesure qu'elle se forme, sans avoir léché la surface de l'eau en ébullition. Ce tube débouche dans une capacité où se trouve le régulateur; la vapeur, après avoir traversé cet appareil, se rend dans les boîtes à vapeur par deux tubes placés généralement en dehors de la chaudière.

Cylindres. — Les cylindres, logés dans le bas de la boîte à fumée ou sur les côtés, et plus ou moins inclinés à l'horizon, sont toujours au nombre de deux. Ces deux cylindres étant parfaitement semblables, ainsi que leurs mécanismes de distribution et de transmission de mouvement, nous n'en décrirons qu'un seul.

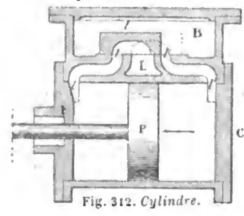


Fig. 312. *Cylindre.*

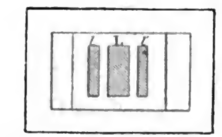
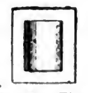


Fig. 313. *Lumières d'introduction.*


Fig. 314. *Tiroir.*

Le cylindre (fig. 312) dans lequel se meut le piston P est fermé à l'arrière par un fond F que traverse la tige du piston, à l'avant par le couvercle C, qui est disposé de manière à pouvoir être enlevé facilement quand on doit réparer le piston. La boîte à vapeur B fait généralement corps avec le cylindre; elle communique avec ses deux extrémités par deux canaux qu'on appelle *lumières d'introduction* l' l'. Une troisième lu-

mière L, dite *lumière d'échappement*, fait communiquer la boîte à vapeur avec le tuyau d'échappement qui se rend dans la cheminée. La section de ces lumières est un rectangle allongé (fig. 313); celle d'échappement est plus large, mais de même longueur que celle d'introduction. La surface plane sur laquelle débouchent ces lumières dans la boîte à vapeur, se nomme *table du cylindre;* elle est parfaitement dressée.

Le *tiroir t* (fig. 314), sorte de caisse renversée, repose sur cette table et glisse sur elle, suivant qu'il se trouve dans l'une ou l'autre des positions indiquées dans la figure 312; l'avant du cylindre communique avec la boîte à vapeur, l'arrière avec le tuyau d'échappement ou à l'inverse. Il est dès lors évident que, quand le tiroir occupe la position indiquée en lignes pleines, la vapeur vient presser contre la face antérieure du piston, et le force à se mouvoir dans le sens de la flèche en refoulant dans le tuyau d'échappement la vapeur qui se trouve derrière lui. Mais si, au moment où le piston arrive au boût de sa course, le tiroir se déplace et vient occuper la position que nous avons indiquée en lignes ponctuées, l'inverse aura lieu et le piston, marchant en sens contraire de la flèche, viendra reprendre la position de laquelle il était parti. C'est en déplaçant ainsi le tiroir chaque fois que le piston est arrivé à bout de course, que l'on parvient à donner au piston le mouvement de va-et-vient qui fait avancer la machine.

Nous avons dit plus haut que l'on attachait une grande importance à ce que la vapeur arrivât dans la boîte à vapeur sans être mélangée d'eau encore liquide; cette importance est réelle; nous allons chercher à la démontrer.

L'eau et la vapeur contenues dans la chaudière ont la même température; c'est ce qui résulte de l'étude des lois de physique relatives aux vapeurs *saturées*, c'est-à-dire produites en présence d'un excès de liquide. Si donc la vapeur qui se rend dans les cylindres entraîne avec elle de l'eau de la chaudière, cette eau est à une haute température qu'elle a acquise aux dépens de la chaleur développée par le foyer. Mais cette eau

n'exerce aucun travail mécanique sur le piston ; bien au contraire, elle diminue celui qui aurait été produit par la vapeur sèche, en augmentant dans une large proportion la résistance qu'éprouve la vapeur à son passage dans les divers conduits qui l'amènent aux cylindres. Il y a donc consommation de chaleur en pure perte et diminution de l'effet utile de la vapeur.

De plus, si l'eau entraînée dans les cylindres y arrive en grande quantité, il en résulte quelquefois des ruptures quand cette eau, refoulée par le piston contre l'un des fonds, ne trouve pas une issue assez grande.

Mécanisme de transmission. — La tige du piston traverse le fond du cylindre ; elle est guidée dans son mouvement rectiligne par la tête de la tige du piston (fig. 315), qui est forcée de se mouvoir entre les glissières *g g*. Cette tête reçoit l'une des extrémités de la bielle motrice *b*, sorte de grand levier en fer forgé qui la relie avec la manivelle.

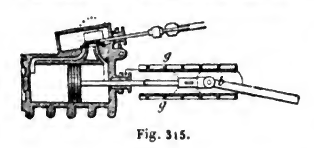


Fig. 315.

La manivelle consiste quelquefois en un coude de l'essieu qui porte les roues motrices, et qui prend alors le nom d'essieu coudé ; dans ce cas, les cylindres sont compris entre les roues. D'autres fois, c'est un renflement du moyeu de la roue motrice dans lequel est fixé un bouton de manivelle. Les cylindres sont alors extérieurs aux roues, et la bielle s'assemble sur ce bouton.

Quand le piston est à bout de course, les axes de la manivelle, de la bielle et du piston se trouvent sur une même ligne droite. Si dans ce moment la vapeur vient presser sur le piston pour le faire rétrograder, le mouvement pourra avoir lieu indifféremment dans un sens ou dans l'autre ; on dit alors que la manivelle est à l'un de ses *points morts*. Pour chaque révolution complète de la manivelle, il y a deux points morts (fig. 316 et 317). On conçoit aisément qu'une machine qui aurait un seul appa-

reil moteur ne pourrait se mettre en marche si elle se trouvait arrêtée de manière que la manivelle fût au point mort. C'est pourquoi l'on a toujours deux mécanismes semblables dont les manivelles sont à angle droit. Cette disposition est aussi fort utile quand l'un de ces mécanismes vient à se déranger en route ; on peut alors, dans la plupart des cas, continuer à marcher avec un seul piston.

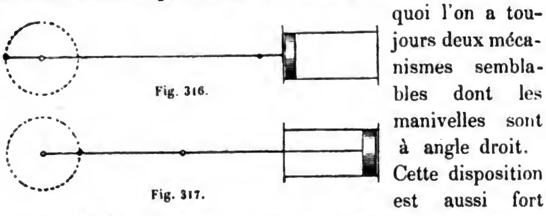


Fig. 316.

Fig. 317.

Le mouvement des tiroirs étant tout à fait analogue à celui des pistons, s'obtient de la même manière. Seulement les manivelles sont remplacées par des excentriques.

Cet appareil consiste en un disque circulaire en métal calé sur l'essieu moteur, de manière que l'axe de ce disque ne coïncide pas avec celui de l'essieu. La course du tiroir est le double de la distance qui sépare les deux centres (*excentricité*), comme la course du piston est le double de la longueur de la manivelle.

La dépense de vapeur dans les locomotives est considérable, et il faut remplacer l'eau de la chaudière à mesure qu'elle est évaporée. A cet effet, la machine est munie de deux pompes aspirantes et foulantes qu'on appelle *pompes alimentaires*. Elles prennent l'eau dans le *tender* ou chariot d'approvisionnement attelé derrière la machine; le tender porte aussi le combustible qu'un ouvrier spécial, le *chauffeur*, charge de temps en temps sur la grille du foyer. Tantôt ce sont les pistons qui communiquent directement leur mouvement aux pompes; tantôt ce sont les excentriques qui les font marcher.

Il est souvent nécessaire de changer le sens de la marche de la machine ; un mécanisme particulier, qui est à la portée du

mécanicien, sert à opérer cette manœuvre. Il s'appelle *levier de changement de marche*.

Enfin il existe dans quelques machines un appareil spécial qui sert à utiliser la *détente* de la vapeur en interceptant l'entrée de ce fluide dans les cylindres avant la fin de chaque course.

Tous ces appareils sont assez compliqués, et leur description nous détournerait du but que nous nous sommes proposé dans ce premier paragraphe, destiné à donner une idée générale d'une machine locomotive. Nous consacrerons à leur étude un paragraphe spécial, quand nous nous occuperons des détails des machines locomotives.

DISPOSITIONS D'ENSEMBLE DES MACHINES LOCOMOTIVES, MODÈLES DIVERS.

Si toutes les machines marchant à de grandes vitesses sur les chemins de fer présentent, sans aucune exception, l'ensemble des dispositions que nous venons de faire connaître, elles diffèrent :

1° Par la forme de la boîte à feu. Les boîtes à feu, ainsi que nous l'avons déjà dit, sont :

Rectangulaires avec dôme semi-cylindrique (machines du chemin de Strasbourg, ancien modèle);

Rectangulaires avec dôme pyramidal (machines du chemin du Nord, ancien modèle de Stephenson);

Cylindriques avec dôme semi-sphérique (machines américaines).

2° Par la disposition de la prise de vapeur. Nous avons indiqué que cette prise de vapeur a lieu sous un dôme cylindrique recouvert d'une calotte semi-sphérique, dans l'intérieur même de l'enveloppe cylindrique de la chaudière, le tube éducteur étant fendu sur la plus grande partie de sa longueur.

3° Par la longueur du corps cylindrique de la chaudière.

On distingue les machines à longue chaudière, dans lesquelles la longueur du corps cylindrique est d'environ 3^{m},80 à 4 mè-

tres (machines Stephenson, du chemin de Strasbourg et du chemin du Nord, ancien modèle) ;

Les machines à chaudière courte (longueur 2m,50, anciennes machines Sharp Roberts, du chemin de Versailles) ;

Les machines à chaudière moyenne (longueur 3 mètres à 3m,50, machines du chemin de Lyon, modèle de Sharp Roberts, certaines machines du chemin de Strasbourg).

4° Par la position des cylindres à vapeur.

Ces cylindres sont placés :

Sous la boîte à fumée ;

A côté de cette boîte ;

Contre le corps cylindrique de la chaudière.

5° Par la disposition des tiroirs, qui est très-variable.

6° Par la forme de l'essieu auquel les pistons communiquent directement le mouvement.

Cet essieu est ou coudé (machines à marchandises du chemin de Strasbourg) ou droit et terminé en dehors des roues par des manivelles (machines à voyageurs des chemins de Strasbourg, du Nord, etc.).

7° Par le nombre des roues.

On a des machines à quatre roues (anciennes machines Bury ou Fenton Murray, des chemins de Versailles) ;

A six roues (modèle anglais), de la plupart des chemins anglais et français ;

A six roues, modèle américain (chemins allemands) ;

A huit roues, modèle américain (chemins allemands) ;

A dix ou douze roues, modèle Engerth.

8° Par les dimensions des roues.

Dans les machines à quatre roues, deux roues jumelles sont d'un grand diamètre et deux d'un diamètre plus petit (machines à voyageurs).

Dans celles à six roues anglaises, deux roues jumelles sont de grand diamètre, les quatre autres de diamètre plus petit sans être couplées (machines à voyageurs de tous les chemins de fer de France et d'Angleterre).

Quatre sont d'un diamètre moyen et sont couplées, deux sont d'un diamètre plus petit (machines mixtes, Strasbourg, Lyon, le Nord).

Les six roues sont de même diamètre et sont couplées (machines à marchandises, chemins de Strasbourg, de Lyon et du Nord).

Dans les machines à six roues américaines, une paire de roues est toujours de grand diamètre et les deux autres paires de petit diamètre (machines à voyageurs des chemins américains).

Dans celles à huit roues, quatre sont d'un grand diamètre et quatre de petit diamètre. Les quatre de grand diamètre sont couplées (machines à marchandises des chemins américains).

9° Par la position des essieux.

Dans les machines à six roues, les trois essieux sont placés entre la boîte à feu et la boîte à fumée (machines des chemins de Strasbourg et du Nord, ancien modèle de Stephenson).

L'un d'eux est en arrière de la boîte à feu et les deux autres entre les deux boîtes (machines du chemin de Lyon, nouvelles machines du chemin du Nord, certaines machines du chemin de Strasbourg).

Dans ces machines, les grandes roues sont sur l'essieu du milieu (machines du chemin de Strasbourg, ancien modèle);

Sur l'essieu de derrière en avant de la boîte à feu (certaines machines Stephenson);

Sur l'essieu de derrière en arrière de la boîte à feu (machines Crampton des chemins de Strasbourg et du Nord).

10° Par la position du châssis.

Les machines sont à châssis intérieur (machines Stephenson);

A châssis extérieur (anciennes machines Fenton Murray).

11° Par la disposition du mécanisme.

Le mécanisme est intérieur aux roues (machines Stephenson).

Il est extérieur (machines Crampton, machines du Sommering).

12° Par le mode d'alimentation de la machine.

La machine est séparée du tender (la plupart des machines des chemins de fer de France et d'Angleterre).

La machine est réunie au tender (machines du chemin du Midi, machines du Sommering).

L'emploi des dômes pyramidaux permet d'augmenter la capacité du réservoir de vapeur et de réduire les frais de construction de la machine; mais la forme de ces dômes les rend trop sujets à explosion, et on trouve qu'ils font peser une trop forte partie de la charge sur l'essieu d'arrière. *Aussi les dômes pyramidaux sont-ils aujourd'hui généralement abandonnés.*

Nous avons déjà indiqué l'avantage que présentent les foyers rectangulaires sur les foyers cylindriques. *En France et en Angleterre, ces foyers rectangulaires obtiennent généralement la préférence.*

Avec la prise de vapeur en plusieurs points du tube éducteur, la vapeur est plus sèche. C'est aujourd'hui la disposition la plus usitée.

Dans les anciennes machines, la longueur des corps cylindriques de la chaudière ne dépassait pas 2^{m},50. Robert Stephenson l'a augmentée afin de dépouiller plus complétement l'air de sa chaleur dans son trajet du foyer à la cheminée; mais il a été ainsi conduit à reporter l'essieu, qui, dans les anciennes machines, était en arrière de la boîte à feu, en avant de cette boîte, de façon que les trois essieux se sont trouvés placés entre la boîte à feu et la boîte à fumée. Son but, en opérant cette transposition, a été de diminuer l'écartement des essieux extrêmes et de faciliter ainsi le passage des courbes. Il a fallu par suite diminuer la longueur de la boîte à feu qui se trouvait en porte à faux sur l'essieu d'arrière.

Les cylindres sont placés au bas de la boîte à fumée entre les roues de devant, dans la plupart des anciennes machines à voyageurs de Sharp Roberts et dans les machines modernes à marchandises des chemins de Strasbourg et du Nord. Les bielles articulées avec les tiges de pistons communiquent alors le

mouvement de rotation à l'un des essieux au moyen de coudes ménagés sur l'essieu, ces coudes faisant office de manivelles. Si, au contraire, les cylindres sont placés sur les côtés de la boîte à fumée, le mouvement est imprimé à l'essieu au moyen de manivelles aux extrémités d'un essieu droit et en dehors des roues.

Le système des cylindres intérieurs avec essieux coudés est souvent préféré pour les machines à marchandises, parce que les deux points d'attache des bielles et des manivelles étant voisins du centre de l'essieu, les machines sont plus stables. On signale néanmoins, comme inconvénients, dans les cylindres intérieurs aux roues, l'impossibilité d'augmenter le diamètre au delà de certaines limites et l'obligation de faire usage d'essieux coudés coûteux à fabriquer. Dans l'origine des chemins à grande vitesse, on employait les essieux coudés, même dans les machines à voyageurs; mais ils cassaient souvent ou occasionnaient des accidents. C'est ce qui a conduit à les abandonner. Mais aujourd'hui on en a perfectionné la fabrication, et il est probable qu'on leur substituera prochainement en France, comme on l'a déjà fait en Allemagne avec succès, des essieux en acier fondu.

Toutes les machines à marchandises ne sont pas à cylindres intérieurs; les plus puissantes, celles du Sommering, sont à cylindres extérieurs. Quelques ingénieurs cependant persistent à les rejeter. Aux chemins de fer de l'Est, un grand nombre de ces cylindres, bien que livrés récemment par les fabricants jouissant de la meilleure réputation, se sont brisés.

Dans presque toutes les machines à voyageurs, les cylindres sont extérieurs. On a reproché aux cylindres extérieurs de se refroidir plus facilement, et aux manivelles extérieures, qui en sont une conséquence, d'occasionner un plus grand mouvement de lacet. Les cylindres extérieurs sont en outre, dans le cas d'un seul châssis, très-difficiles à fixer ; ils ne sont attachés qu'aux bâtis avec un très-grand porte à faux, et ils doivent être placés complétement en avant des roues, ce qui charge trop l'avant

si les roues ont un diamètre un peu grand. Enfin ils rendent difficile l'agencement des bielles dans les machines à roues accouplées. On prévient le refroidissement en enveloppant le cylindre de substances non conductrices de la chaleur, et on annule, pour ainsi dire, le mouvement de lacet en faisant un usage judicieux des contre-poids. Les cylindres extérieurs ont sur les cylindres intérieurs l'avantage d'être plus faciles à visiter et à réparer.

Les cylindres sont placés à côté du corps cylindrique de la machine et les manivelles en dessus des roues dans les machines, où, comme dans les Crampton, l'essieu moteur est en arrière de la boîte à feu. On adopte cette disposition afin de diminuer la longueur des bielles.

Quant aux tiroirs, leur disposition varie à l'infini.

Tant que les cylindres intérieurs ont été exclusivement en usage, on a placé la table des tiroirs horizontalement au-dessus de ces cylindres ; c'est ce que l'on appelle des tiroirs horizontaux. Lorsque Stephenson construisit ses premières machines à cylindres extérieurs, il plaça ses tiroirs verticaux à l'intérieur des cylindres. Depuis lors on leur a conservé cette position dans presque toutes les machines, soit à cylindres intérieurs, soit à cylindres extérieurs ; cependant, on a été amené quelquefois à incliner de diverses manières la table des tiroirs par rapport à l'axe des cylindres, et même à les placer au-dessous des cylindres. M. Buddicom a construit, pour les chemins de Rouen et du Havre, des machines à cylindres extérieurs dont les tiroirs sont placés au-dessus des cylindres ; M. Polonceau, des machines à cylindres intérieurs dont les tiroirs sont verticaux, mais placés à l'extérieur.

Toutes ces dispositions ont des avantages et des inconvénients analogues à ceux des cylindres. Ce que l'on doit rechercher quand on étudie l'appareil moteur d'une machine locomotive, c'est de faciliter la visite et les réparations des diverses parties qui la composent, de diminuer les résistances qu'éprouve la vapeur dans les conduits d'admission et d'échappe-

ment, de diminuer le volume de ces conduits, qui sont une cause de consommation de vapeur en pure perte, et de mettre le tout à l'abri des chances habituelles de dégradation.

Les machines locomotives construites avant 1837 étaient toutes à quatre roues. Les raisons qui ont déterminé le célèbre ingénieur et constructeur de machines Robert Stephenson à augmenter le nombre des roues ont été indiquées par lui dans une lettre dont nous reproduisons l'extrait qui suit :

London and Birmingham railway office.

« 1er juillet 1837.

« Dans les machines que je regarde comme les meilleures pour le transport des voyageurs à de grandes vitesses, les cylindres ont 12 pouces de diamètre, la course du piston est de 18 pouces. La chaudière est portée sur *six roues*, dont quatre ayant 3 pieds et demi de diamètre et deux 5 pieds. Le poids de la machine est d'environ 11 tonnes et le prix de 1450 livres sterling [1].

« Une machine de même force nominale portée sur quatre roues ne coûterait que 1300 livres sterling; mais la chaudière serait sensiblement plus petite, moins solide et beaucoup plus sujette aux dégradations. Mon but principal, en répartissant le poids de la machine sur six roues au lieu de quatre, est de m'assurer les moyens d'employer une grande chaudière sans augmenter la charge sur les rails. Ces machines peuvent remorquer 100 tonnes brutes sur un chemin de niveau à la vitesse de vingt milles à l'heure (32 kilomètres). »

On voit par cette lettre que les constructeurs anglais n'ont pas, ainsi qu'on l'a prétendu, augmenté le nombre des roues dans les machines locomotives afin de prévenir les accidents qui pourraient survenir en cas de rupture d'un essieu.

Le fait suivant vient encore à l'appui de cette assertion.

1. Toutes les machines que l'on construit aujourd'hui sont beaucoup plus puissantes.

Dans toutes les machines à six roues construites en Angleterre et dans celles imitées en France jusqu'au jour du terrible accident du 8 mai 1842 (rive gauche), le poids était distribué de telle manière que le centre de gravité de l'appareil se trouvait en avant de l'essieu moteur placé entre les deux autres. Si donc l'essieu d'avant placé sous la boîte à fumée venait à se briser et à se détacher complétement, la machine devait nécessairement basculer sur l'essieu moteur et *donner du nez* sur le sol tout comme si elle avait été à quatre roues.

A la vérité, si, dans ces machines à six roues, c'est l'essieu à manivelles qui se brise au lieu de l'essieu de devant, la chaudière conserve son équilibre. Mais quand cette rupture a lieu dans une machine à quatre roues, il est rare que l'essieu coudé, qui est soutenu ordinairement en six ou même en huit points, se détache complétement, et, comme la machine est soutenue en outre par son tender, il n'en résulte généralement rien de grave. Sur le chemin de Montpellier à Cette, la rupture d'un grand nombre d'essieux coudés n'a pas occasionné le moindre accident, quoique les machines fussent à quatre roues.

Après l'accident du 8 mai, l'on a construit beaucoup de machines dans lesquelles le centre de gravité se trouvait entre l'essieu moteur et l'essieu d'arrière ; mais on s'est bientôt aperçu que cette disposition, qui pouvait convenir pour des machines marchant à des vitesses modérées, était dangereuse pour les grandes vitesses.

En effet, la charge supportée par l'essieu d'avant devenait insuffisante, et les soubresauts violents auxquels il était soumis le faisaient sortir de la voie. L'on avait cherché à obvier à cet inconvénient en faisant les ressorts des roues d'arrière très-rigides ; mais ce moyen a été reconnu insuffisant, et l'on a fini par reporter le centre de gravité de la machine en avant de l'essieu moteur. Dans les machines Stephenson le poids est réparti à peu près également des deux côtés de l'essieu moteur.

Il n'y a que deux positions de la bielle, ses deux points

morts, dans lesquels son action soit dirigée dans le même sens que celle du piston; il en résulte des pressions obliques d'intensité variable sur les glissières. Dans les machines à six roues, l'effet de ces pressions obliques est peu sensible à cause de la rigidité des ressorts de roues d'arrière; dans celles à quatre roues, au contraire, elles donnent lieu à un mouvement vertical d'oscillation autour de l'essieu, mouvement qui non-seulement est fatigant pour ceux qui sont sur la machine, mais qui a de plus le grave inconvénient de pouvoir occasionner le déraillement.

Ce mouvement, que l'on appelle *galop*, peut être considérablement diminué, même dans les machines à quatre roues, si l'on écarte davantage les essieux en reportant l'essieu moteur à l'arrière de la boîte à feu.

Dans les anciennes machines à quatre roues, le galop est si prononcé, qu'une personne qui a l'oreille exercée peut aisément, sans voir une machine, distinguer à sa marche si elle est à quatre ou à six roues.

Les machines à six roues (système anglais) sont donc préférables, sous bien des rapports, à celles à quatre roues. Mais le grand écartement de leurs essieux extrêmes, écartement qui tend toujours à augmenter, parce que l'on reconnaît les avantages des grandes surfaces de chauffe, rend leur passage à grande vitesse, dans les courbes de petits rayons, difficile, et même impossible quand ces rayons descendent au-dessous de 500 mètres.

Aux États-Unis et sur certains chemins de fer allemands, où les courbes sont de très-faibles rayons, l'on emploie des machines à six ou à huit roues (fig. 318, 319 et 320) qui présentent des dispositions remarquables. Dans les machines dites américaines à six roues, l'essieu moteur est placé à l'avant ou à l'arrière de la boîte à feu; il supporte la partie postérieure du châssis et de la chaudière au moyen de ressorts et de boîtes à graisse comme dans les machines européennes. Quant aux deux autres essieux, ils font partie d'un petit chariot spécial qui supporte la partie antérieure de la machine. Ce chariot peut

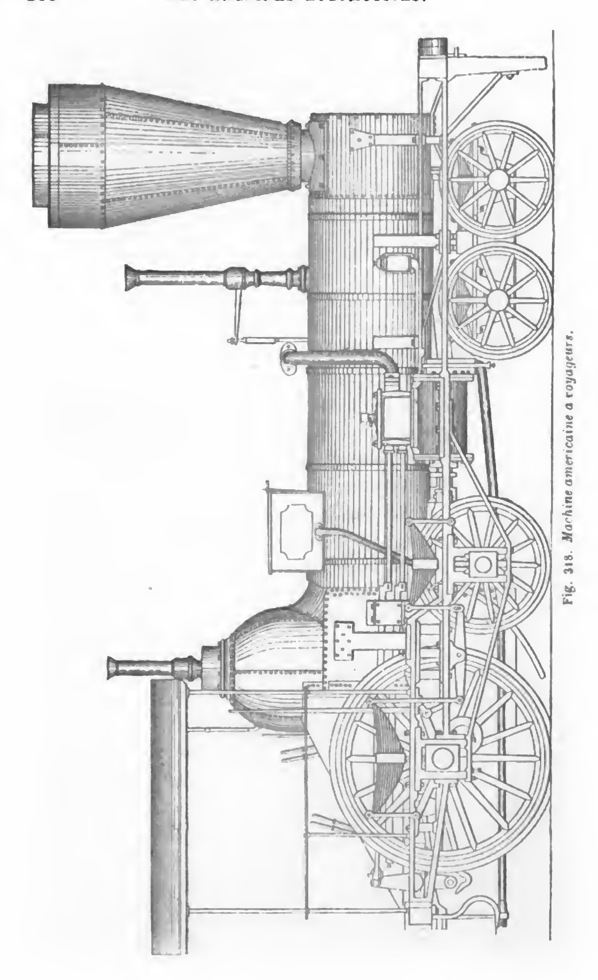


Fig. 318. Machine americaine à voyageurs.

tourner indépendamment du châssis principal autour d'un boulon appelé *cheville ouvrière*, fixé sur la chaudière et placé à une petite distance en avant du centre de figure du rectangle formé par ses deux essieux.

Il résulte de cette disposition, et du faible écartement des essieux de devant, que ces machines passent sans difficulté dans des courbes de beaucoup plus petit rayon que les machines européennes, et que cependant elles ne sont pas sujettes à sortir de la voie dans laquelle les maintiennent les quatre roues antérieures.

Afin d'éviter les graves accidents qui pourraient résulter de la rupture d'un des essieux de devant, on suspend le cadre de l'avant-train aux châssis de la machine par des chaînes. La machine ne sort pas immédiatement de la voie, et le mécanicien a le temps de l'arrêter avant qu'un accident soit arrivé.

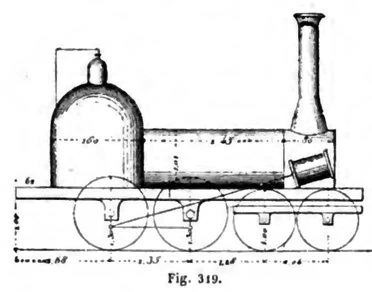


Fig. 319.

Les machines américaines à huit roues ne diffèrent de celles à six qu'en ce que leur foyer est compris entre deux essieux couplés [1], de sorte qu'elles sont propres au service des marchandises, tandis que les dernières sont destinées au transport des voyageurs. Les machines américaines passent facilement dans des courbes de très-petit rayon; mais la petitesse du diamètre des roues d'avant s'oppose à une marche rapide. Des ingénieurs qui ont voyagé récemment en Allemagne nous ont assuré cependant qu'ils avaient, avec des machines de cette

1. Quelquefois les essieux couplés sont tous les deux à l'avant de la boîte feu.

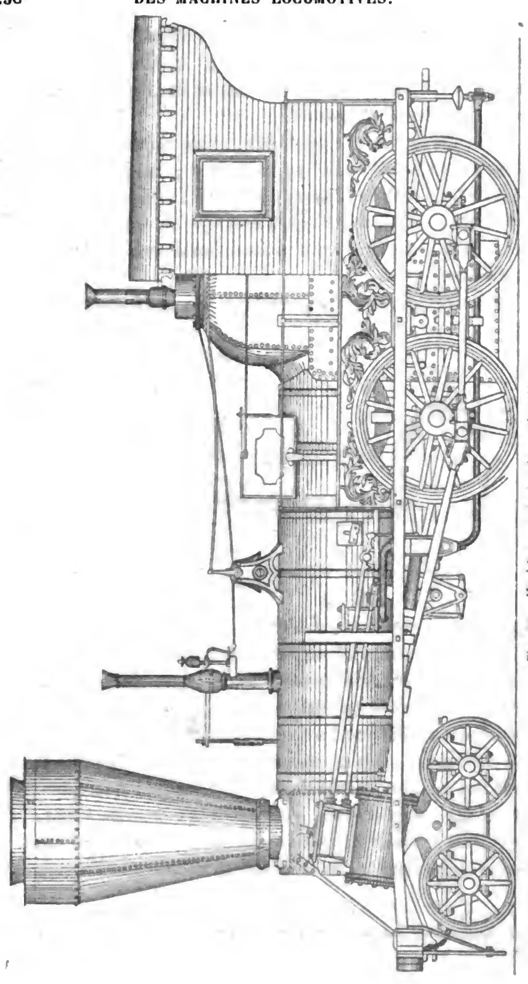


Fig. 320. *Machine américaine à marchandises*

espèce dont on avait agrandi les roues, atteint des vitesses de 60 à 65 kilomètres à l'heure. Leur principal défaut était de ne pouvoir remorquer des charges considérables malgré leur grande puissance, parce que les roues étant de diamètre différent, on ne supposait pas qu'il fût possible d'obtenir une grande adhérence. On a résolu le problème dans les nouvelles machines du Sommering, que nous décrirons plus loin, et qui sont aussi des machines à huit roues et quelquefois même douze roues, y compris celles du tender réuni à la machine.

On donne de grands diamètres aux roues placées sur l'essieu moteur (roues motrices) et des diamètres plus petits aux autres roues, dans toutes les machines destinées à marcher à de grandes vitesses, c'est-à-dire dans toutes les machines à voyageurs.

L'augmentation du diamètre des roues motrices permet d'augmenter la vitesse de marche des trains, ce qui convient aux trains de voyageurs.

En effet, le chemin parcouru par la machine dans un temps donné est égal au développement du cercle extérieur des roues motrices multiplié par le nombre de tours qu'ont fait ces roues dans le même temps.

Si donc on veut augmenter la vitesse de la marche, il faut augmenter le nombre des coups de piston ou le diamètre des roues. Mais les pièces du mécanisme qui sont mises en mouvement par la vapeur ne peuvent pas dépasser un certain nombre d'oscillations dans l'unité de temps sans qu'il en résulte une perte notable dans l'effet utile de la vapeur et une prompte détérioration des surfaces frottantes; il faut par conséquent que les machines à voyageurs aient de grandes roues motrices. Le diamètre de ces roues varie de $1^m,68$ à $2^m,30$, suivant la nature du service auquel elles sont affectées, et l'on construit même, en Angleterre, des machines à roues de $2^m,60$.

Le diamètre des roues de machines à marchandises varie de $1^m,20$ à $1^m,50$. Pour un tour de roue, une machine à marchan-

dises parcourt donc un espace moindre qu'une machine à voyageurs.

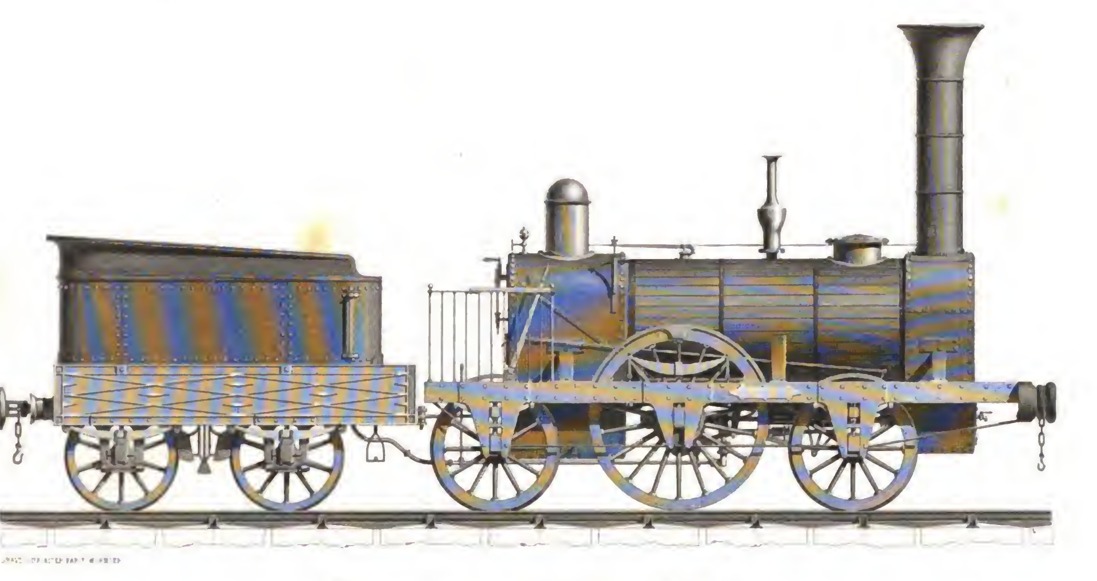
Deux machines dont les chaudières, cylindres, pistons, etc., seraient les mêmes, mais dont les roues seraient entre elles comme 1 est à 2, produiraient pendant un tour de roue le même travail mécanique. Or, ce travail est égal, pour chaque machine, à l'effort qu'elle exerce sur le convoi entier qu'elle remorque pour lui faire conserver la vitesse qu'il possède, multiplié par le chemin parcouru pendant un tour de roue.

Mais la première machine parcourra pendant cette période un espace moitié de celui que parcourra la seconde; l'effort qu'elle exerce devra donc être double pour que le produit reste constant.

Cet effort de traction produit par la pression de la vapeur sur les pistons est transmis par les bielles et les manivelles aux roues motrices qu'il tend à faire glisser sur les rails. Nous avons dit que ce glissement est empêché par l'*adhérence* des roues motrices, laquelle est proportionnelle à la pression qu'elles exercent sur la voie; il faut donc que les machines à marchandises aient leurs roues motrices plus chargées que celles à voyageurs. Afin d'éviter l'excès de fatigue qui résulterait pour la voie d'une surcharge locale trop considérable, on a été conduit à rendre motrices une ou deux des paires de roues qui, dans les machines à voyageurs, ne servent qu'à supporter la fraction du poids qui n'est pas nécessaire pour produire l'adhérence.

A cet effet, on munit ces roues et les roues motrices proprement dites de manivelles auxiliaires de même longueur, et l'on réunit les boutons de ces manivelles par des bielles dites d'*accouplement* ou de *connexion*, de sorte que tout mouvement de rotation des roues motrices est nécessairement reproduit par celles qui leur sont couplées.

Toutes les fois que les roues d'avant sont couplées avec les roues motrices, elles doivent avoir exactement le même diamètre que ces dernières; leurs axes se trouvent donc dans un



Machine locomotive de Sharp Roberts

Fig. 34

même plan horizontal. Si alors les cylindres sont intérieurs, leur axe est nécessairement incliné à l'horizon pour que la tige du piston ne rencontre pas l'essieu d'avant dans son mouvement.

On appelle *machines mixtes* celles dans lesquelles une partie seulement des roues sont accouplées. Elles conviennent particulièrement au service des voyageurs sur les chemins à fortes pentes, ou des voyageurs et marchandises réunis pour des vitesses de 35 à 45 kilomètres sur les lignes à pentes faibles et moyennes.

Les grandes roues sont placées au milieu dans la plupart des machines à voyageurs Stephenson. Elles sont à l'arrière, en avant de la boîte à feu, dans quelques-unes des machines de ce constructeur (fig. 335), et à l'arrière, derrière la boîte à feu, dans les machines Crampton (fig. 336).

Lorsqu'elles sont au milieu, le centre de gravité se trouvant au-dessus de l'essieu moteur, il arrive fréquemment que la machine se trouve en équilibre instable sur cet essieu. C'est pour cela qu'il vaut mieux, dans les machines à voyageurs, le rapprocher des extrémités et surtout le placer en arrière de la boîte à feu, comme l'a fait M. Crampton.

Nous avons distingué les machines à *châssis extérieur* de celles à *châssis intérieur*. Le châssis est extérieur dans la machine (fig. 321, type Sharp et Roberts). Les boîtes à graisse reposent alors sur les fusées, extérieurement aux roues, comme cela a lieu dans les wagons. Le châssis et les boîtes à graisse sont intérieurs dans la machine ancien modèle adopté par Stephenson (fig. 326).

On a soutenu, dans plusieurs publications, que les machines à cadre intérieur sont moins dangereuses en cas de rupture d'un essieu que celles à cadre extérieur, et voici le raisonnement dont on s'est servi pour défendre cette thèse. Une machine locomotive étant en mouvement, les essieux sont sollicités à se rompre par deux forces :

1° Le poids de la machine qui agit de haut en bas verticalement ;

2° La pression qui a lieu entre le rebord de la roue et le

rail quand, par une cause quelconque, la machine se déplace latéralement. Cette pression tend à renverser la roue en dehors de la voie en brisant l'essieu en dedans contre le moyeu.

Quand le châssis est extérieur, le poids de la chaudière et du mécanisme tend à produire le même effet que la pression latérale, et si l'essieu se brise, la rupture ayant toujours lieu en dedans des roues contre le moyeu, la roue s'incline en dehors, jusqu'à ce qu'elle ait rencontré le châssis contre lequel elle s'appuie, et quitte le rail (fig. 322).

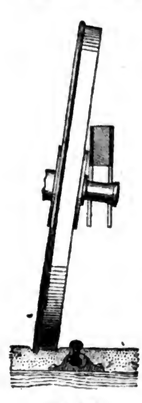


Fig. 322.

Si, au contraire, le châssis est intérieur, le poids qui presse sur la fusée tend à chasser le boudin de la roue en dehors de la voie, tandis que la pression latérale tend à produire l'effet contraire; ces deux efforts se contre-balancent donc jusqu'à un certain point. La rupture de l'essieu ayant toujours lieu en dedans de la fusée en *a* (fig. 323), le poids de la chaudière renverse la roue en dedans, elle s'incline jusqu'à ce que le boudin s'appuie contre le rail, et alors, au lieu de s'éloigner du rail, comme dans le cas du châssis extérieur, elle s'en rapproche. Il arrive donc que la roue, bien qu'inclinée, ne quitte pas la voie.

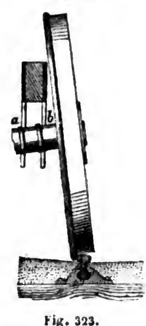


Fig. 323.

Ce raisonnement sérait juste si, dans les machines à châssis intérieur, l'essieu se cassait toujours en *a* au delà de la fusée; mais il arrive, au contraire, plus fréquemment que la rupture a lieu en *b* tout contre le moyeu. Alors la roue se détache complétement en se jetant hors de la voie, et la machine déraille nécessairement en tournant sur elle-même si elle est à quatre roues, ou si, étant à six roues,

c'est l'essieu d'avant qui s'est brisé. Un accident de ce genre, arrivé sur le chemin de Londres à Birmingham avec une machine à quatre roues, est venu prouver le danger réel que présentent les machines à cadre intérieur quand il y a rupture d'un des essieux.

Avec les machines à châssis extérieur, il est vrai que la roue quitte le rail en s'inclinant ; mais, comme cette roue continue à être soutenue par le cadre pendant quelques instants, elle roule sur le sable et maintient la machine mieux que ne le ferait une roue de machine à châssis intérieur qui se détacherait entièrement du châssis.

On a cru pendant longtemps que, lors de l'accident du 8 mai, les roues, ou du moins une des roues de devant étant tombée par suite de la rupture de l'essieu, la machine avait basculé. Une étude plus attentive des faits a conduit à reconnaître que la machine n'avait pas en réalité basculé. Elle était seulement sortie de la voie, et très-probablement le déraillement n'avait pas été la conséquence, mais bien la cause de la rupture de l'essieu. La machine déraillée avait été soutenue pendant un trajet de près de 100 mètres par les roues de devant, en partie renversées.

Les machines locomotives à châssis extérieur nous paraissent donc tout aussi sûres, si ce n'est moins dangereuses, que celles à châssis intérieur.

L'usage du cadre et des boîtes à graisse intérieurs a d'ailleurs l'inconvénient de forcer à donner aux fusées un grand diamètre nécessaire pour conserver aux essieux une force suffisante : d'où il résulte que le travail du frottement est augmenté d'une manière très-sensible. Il augmente, par la position des cylindres et par le peu d'assiette que présente le faible écartement des boîtes à graisse, la tendance de la machine à prendre du lacet. Enfin, il rétrécit l'espace laissé à la chaudière et au mécanisme, et force ainsi à diminuer la largeur de la boîte à feu et le diamètre du corps cylindrique et à entasser toutes les pièces du mécanisme logées sous la chaudière.

Le mécanisme étant à l'extérieur, on le visite et on l'entretient plus facilement.

Enfin la jonction du tender à la machine en diminue un peu le poids mort et facilite la manœuvre.

Les différents constructeurs anglais fabriquent ordinairement chacun des modèles de machines qui leur sont particuliers.

Pendant longtemps Bury a donné la préférence aux machines à quatre roues avec châssis et cylindres intérieurs, foyer cylindrique en fer surmonté d'un dôme semi-sphérique. Cependant il a fini par ajouter une troisième paire de roues à ses dernières machines.

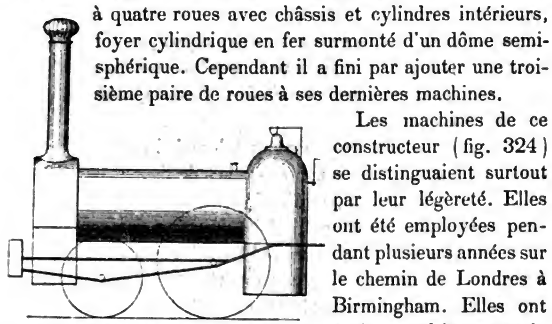


Fig. 324. *Machine de Bury.*

Les machines de ce constructeur (fig. 324) se distinguaient surtout par leur légèreté. Elles ont été employées pendant plusieurs années sur le chemin de Londres à Birmingham. Elles ont également fait un excellent service sur le chemin de Saint-Germain.

Fenton-Murray a aussi construit des machines à quatre roues représentées figure 325.

Tous les autres constructeurs anglais ont donné la préférence aux machines à six roues à foyer rectangulaire en cuivre.

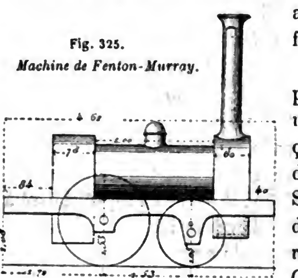
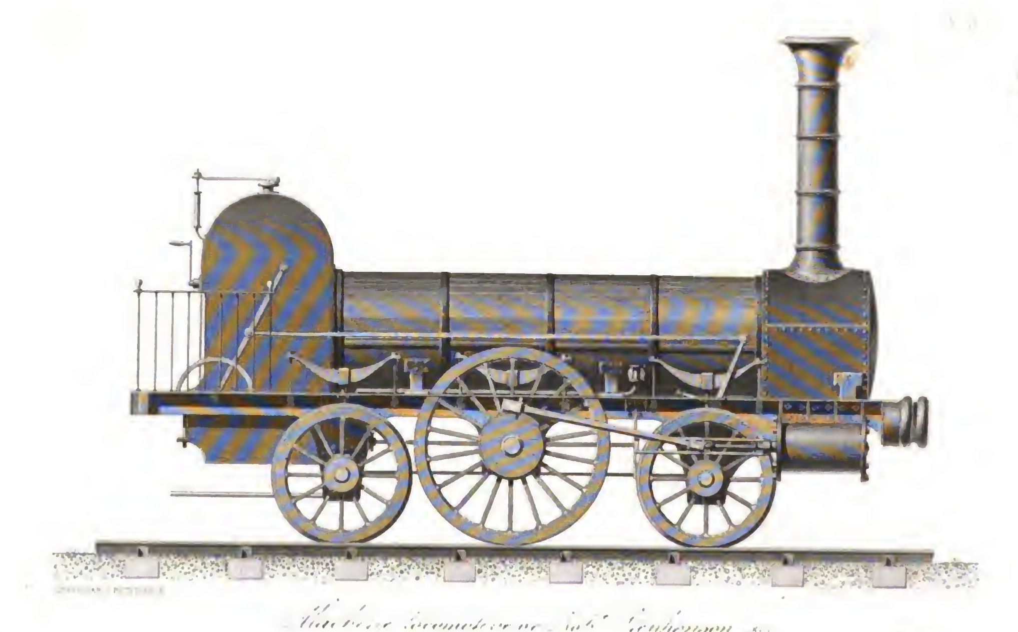


Fig. 325. *Machine de Fenton-Murray.*

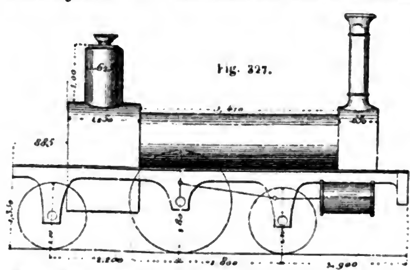
Les types auxquels on peut rattacher la plupart des machines anglaises, françaises et allemandes aujourd'hui en usage sont ceux de Stephenson, Sharp-Roberts, de Crampton et le type américain. Plusieurs grandes Compagnies en France viennent de commander des machines du type Engerth (machines du Sommering).



Nous avons dit que, dans l'ancien modèle Stephenson (fig. 326), la chaudière est longue, les trois essieux placés entre les deux boîtes à fumée, la boîte à feu courte, et, pour les machines à voyageurs, les roues motrices installées au milieu de la machine ou en avant de la boîte à feu. Nous ajouterons que ce modèle est à châssis intérieur ; que les machines à voyageurs sont à cylindre extérieur, tandis que celles à marchandises sont à cylindre intérieur et que les pompes alimentaires y sont mises en mouvement par une bielle qui se rattache à l'excentrique de la marche en arrière.

Un des plus grands défauts de ces machines est l'exiguïté de leur foyer, dont les dimensions se trouvent forcément restreintes, en longueur, par sa position en porte-à-faux sur l'essieu d'arrière, et en largeur, par son installation entre les deux longerons d'un châssis intérieur. Cet inconvénient s'aggrave si le combustible employé n'est pas de première qualité.

Les machines Stephenson ne sont pas suffisamment chargées à l'avant, surtout quand le dôme est pyramidal ; enfin elles sont sujettes à des oscillations latérales très-fâcheuses.



Machine du chemin de Lyon (ancien modèle Sharp-Roberts).

M. Barrault a remédié à la plupart de ces défauts, sur le chemin de Lyon, en adoptant l'ancien modèle de Sharp-Roberts (fig. 327) dans lequel il a porté la longueur du corps cylindrique de la chaudière à $3^m,41$. On a reproché toutefois à ces machines la petitesse du diamètre de la chaudière et celle du diamètre des roues d'avant. Dans de nouvelles machines du même système, on a augmenté le diamètre de la chaudière et le diamètre des roues d'avant.

Dans ces machines et dans toutes celles du système Sharp-

Roberts, les tiges des pistons des pompes alimentaires se meuvent en même temps que celles des pistons de la machine auxquels elles sont liées par des entre-toises. Les excentriques sont ainsi moins fatigués que dans la machine Stephenson.

Les tiroirs, dans les machines Sharp, étaient d'abord horizontaux et placés au-dessus des cylindres (voir figure 321), disposition qui nécessitait une transmission compliquée; maintenant les tiroirs sont verticaux comme ceux de Stephenson. Ils sont contenus dans une boîte à vapeur unique formée par la juxtaposition des deux cylindres. Par ce moyen, le mécanisme de transmission a pu être beaucoup simplifié.

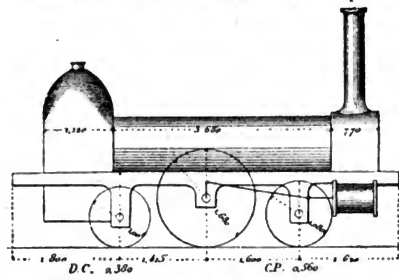
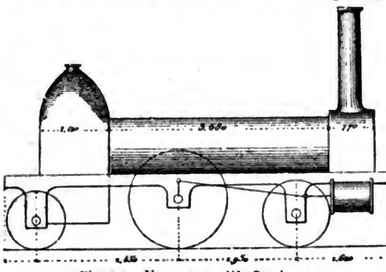


Fig. 328. *Ancien modèle Stephenson.*

Sur le chemin du Nord, on a longtemps employé la machine Stephenson (fig. 328); mais ces machines manquant de stabilité, on a reporté un essieu à l'arrière de la boîte à feu en reculant aussi l'essieu des roues motrices (fig. 329).


Fig. 329. *Nouveau modèle Stephenson.*

Sur le chemin de Strasbourg, on continue à se servir des anciennes machines Stephenson, qui sont plus stables que celles du Nord, parce que le dôme de la boîte à feu n'est pas

pyramidal comme celui de ces dernières, et on a diminué le mouvement de lacet par des contre-poids. Les machines nouvellement construites pour le service des voyageurs à moyenne vitesse (fig. 330) ont une chaudière plus courte et l'essieu à l'arrière de la boîte à feu. La longueur de la chaudière a été réduite de 3^{m},80 à 3 mètres ; mais le nombre des tubes a été porté de 125 à 151.

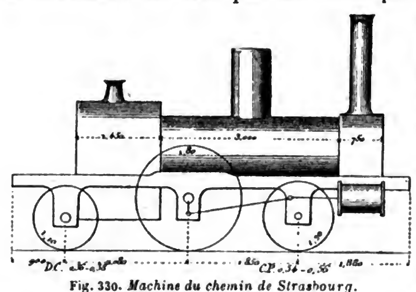


Fig. 330. *Machine du chemin de Strasbourg.*

Pour les machines à marchandises (fig. 331), on a continué à placer les trois essieux entre les deux boîtes. De cette manière, le poids supporté par chaque paire de roues est à peu près le même, en sorte que la machine, bien que pesant 27 tonnes, chargée, ne fatigue pas trop la voie.

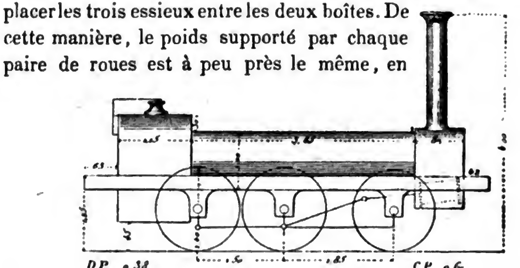


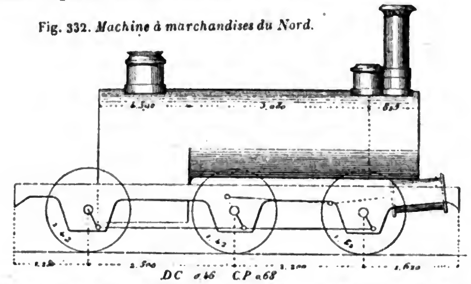
Fig. 331. *Machine à marchandises.*

Au chemin du Nord, on a construit des machines très-puissantes pour le service des marchandises (fig. 332), avec l'essieu à l'arrière de la boîte à feu ; mais dans ces machines, du poids de 31 tonnes environ, chargées, l'essieu de devant porte une charge de 12 tonnes, ce qui est excessif.

Sur les chemins de Paris à Rouen et au Havre, d'Amiens à

Boulogne et d'Orléans à Bordeaux, on se sert, pour le service des voyageurs, de machines remarquables par leur légèreté et la bonne répartition de leur poids sur les essieux.

Fig. 332. *Machine à marchandises du Nord.*



Ces machines (fig. 333), construites sur les types de M. Buddicom, ont un châssis intérieur pour les roues motrices et

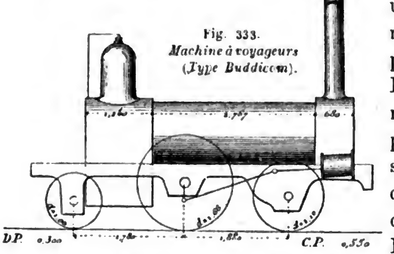


Fig. 333. *Machine à voyageurs (Type Buddicom).*

un châssis extérieur pour les petites roues. Leurs chaudières ressemblent pour la disposition à celles des machines du chemin de Lyon, mais leurs tubes sont beaucoup plus courts. Les cylindres sont extérieurs et inclinés, les tiroirs horizontaux et placés au-dessus des cylindres, ce qui complique un peu la transmission. Les essieux sont placés comme dans les machines de Sharp et Roberts

Stephenson a construit, d'après les indications de Crampton, des machines à double châssis intérieur pour les roues motrices, extérieur pour les porteuses (fig. 334). Les roues motrices placées derrière le foyer sont couplées au moyen de bielles de connexion avec un arbre coudé qui ne porte pas de roues. Cet arbre coudé reçoit le mouvement des pistons et

porte les excentriques ; les cylindres sont intérieurs. Ce modèle n'a pas trouvé d'imitateurs sur le continent. Sharp frères ont, de leur côté, construit quelques machines à cylindre extérieur. On voit donc que les divergences tendent à s'effacer et que les types tranchés finiront par se fondre en un système qui empruntera à chacun d'eux ses avantages.

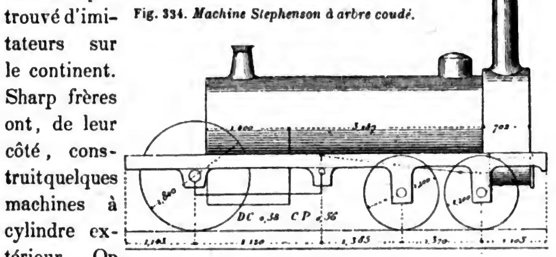


Fig. 334. *Machine Stephenson à arbre coudé.*

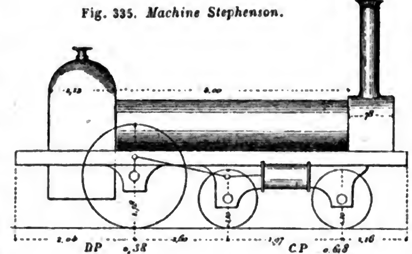


Fig. 335. *Machine Stephenson.*

La fig. 335 représente une machine de Stephenson avec les grandes roues en avant de la boîte à feu.

Les machines du système Crampton (fig. 336) ont les grandes roues à l'arrière, le centre de gravité très-peu élevé, les essieux extrêmes très-écartés, un foyer de grande dimension, les cylindres et le mécanisme à l'intérieur des roues (voir

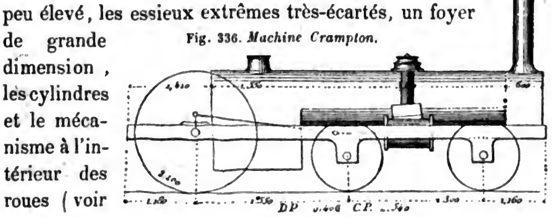


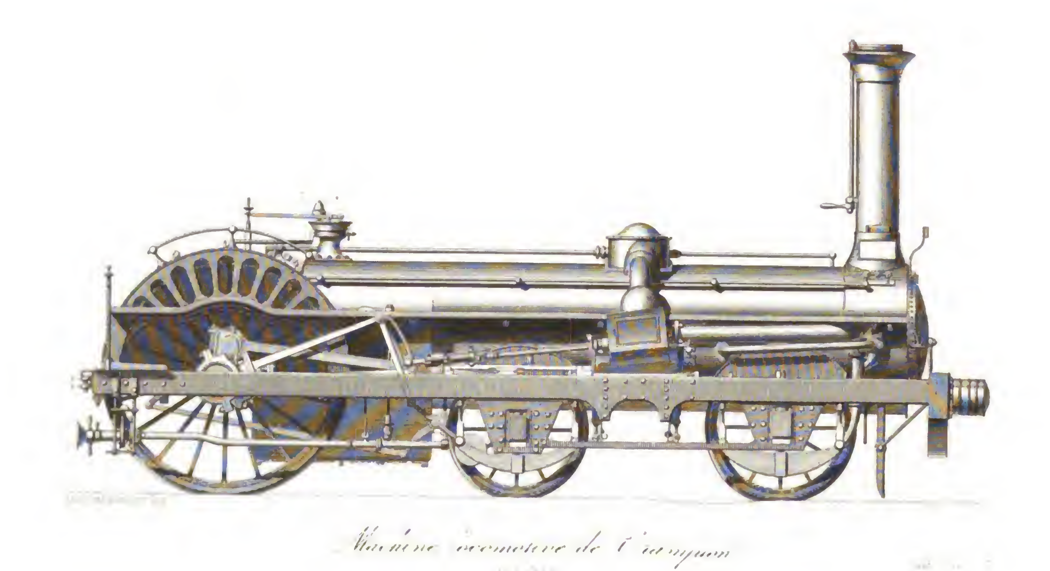
Fig. 336. *Machine Crampton.*

fig. 337). Elles ont, par conséquent, une grande stabilité, une grande puissance et sont dans d'excellentes conditions pour marcher à de grandes vitesses; aussi sont-elles exclusivement employées à remorquer les trains de voyageurs. Ces machines sont lourdes, puisqu'elles pèsent 30 tonnes, chargées, et elles fatiguent beaucoup la voie, soit à cause de la pression considérable exercée par la charge sur les roues d'avant (10 tonnes), soit à cause du grand écartement des essieux. Les essieux intermédiaires étant peu chargés, la machine Crampton peut être assimilée à une machine à quatre roues. Les grandes roues des Crampton du chemin du Nord ont $2^m,10$ de diamètre, celles des Crampton du chemin de Strasbourg, $2^m,30$.

L'expérience des machines du système Crampton, employées sur le chemin de fer du Nord, dit M. Lechatelier[1], a démontré que ces machines, autant par le peu d'élévation du centre de gravité que par le grand écartement des supports extrêmes et la bonne répartition de la charge, se comportent d'une manière remarquable dans les accidents auxquels est soumis inévitablement le service des chemins de fer, tels que déraillements, collisions, etc. Dans beaucoup de circonstances où d'autres machines avaient été renversées sur le flanc, celles-ci sont restées debout sur les rails, sur la voie ou même sur les talus des remblais, et ont pu fournir la course nécessaire à l'amortissement de la force vive dont le convoi était animé. « C'est là, ajoute M. Lechatelier, dans ma pensée, un motif qui doit contraindre les constructeurs à s'ingénier pour abaisser le centre de gravité; c'est ce motif qui doit surtout faire proscrire l'usage des cylindres intérieurs et des essieux coudés dans les machines à grande vitesse. »

Des ingénieurs très-expérimentés, MM. Buddicom et Polonceau, continuent toutefois à employer de préférence aux machines Crampton, pour les trains à grande vitesse, des machines de l'ancien système se rapprochant du type représenté page 248, figure 333. Ces machines, suivant ces ingénieurs,

1. Chemins de fer d'Angleterre en 1851.



Machine locomotive de Crampton

ont une stabilité complétement satisfaisante et ne présentent pas, comme les machines Crampton, une roideur nuisible à la marche. Les machines du chemin de Rouen font, avec très-peu de force, un service de trains assez chargés, et elles soutiennent une grande vitesse avec une extrême facilité. Pour un même service, elles dépensent moins de force et sont par conséquent plus économiques que les machines Crampton.

On fait un grand usage, sur plusieurs chemins de fer, de machines dans le système Stephenson et dans celui de Sharp, avec deux paires de roues couplées. Elles servent à remorquer à de moyennes vitesses des trains de voyageurs très-chargés ou des trains mixtes, c'est-à-dire des trains composés en partie de voitures de voyageurs, en partie de wagons à marchandises.

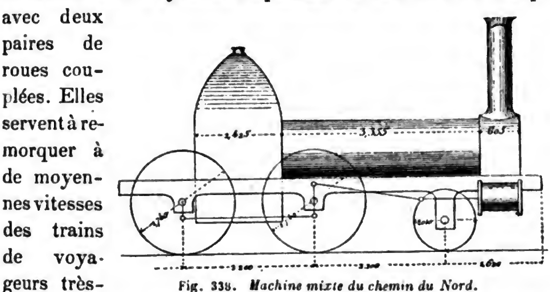


Fig. 338. *Machine mixte du chemin du Nord.*

La figure 338 représente le modèle des machines mixtes du Nord ; la figure 339, les machines mixtes du chemin de Strasbourg, et enfin la figure 340, les machines mixtes du chemin de Lyon.

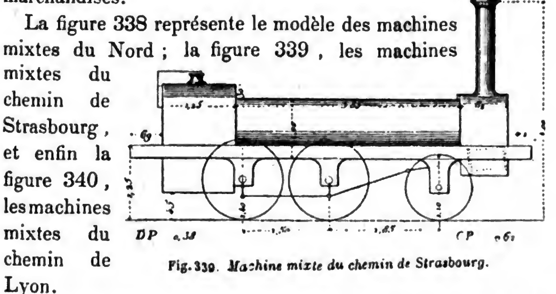


Fig. 339. *Machine mixte du chemin de Strasbourg.*

On remarque que dans le modèle du Nord et dans celui

de Strasbourg les roues couplées sont à l'arrière et que dans celui de Lyon elles sont à l'avant. Dans le premier cas, elles sont moins chargées, ce qui est un défaut ; d'un autre côté,

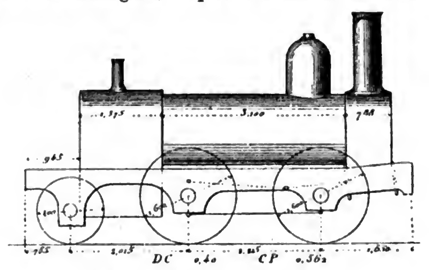


Fig. 340. *Machine mixte de Lyon.*

les grandes roues étant à l'avant, quelques ingénieurs redoutent une plus grande tendance au déraillement.

Au chemin d'Orléans, M. Polonceau, ingénieur régisseur de la Traction, a construit pour le service des marchandises seulement des machines à quatre roues couplées (fig. 341). Dans

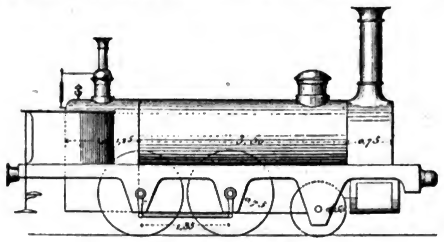


Fig. 341. *Machine de M. Polonceau.*

ces machines, remarquables sous plusieurs rapports, ce sont les roues d'arrière qui sont couplées, le châssis est extérieur, les cylindres intérieurs et les tiroirs extérieurs. Les manivelles d'accouplement sont calées sur l'extrémité des essieux en dehors de la fusée; les trois essieux sont sous le corps cylindrique de la chaudière. M. Polonceau a obtenu une sur-

face de chauffe très-grande en augmentant le diamètre de la chaudière et la largeur de la boîte à feu, par conséquent sans allonger sa machine outre mesure. De plus, les parties les plus délicates sont à l'extérieur et parfaitement à la portée du mécanicien. Les roues sont peu écartées ($3^m,125$) et les essieux convenablement chargés.

Nous décrirons plus loin, en traitant des machines de l'Exposition, une machine du même constructeur dans laquelle il a apporté de notables perfectionnements.

La Compagnie de l'Ouest emploie sur le chemin d'Auteuil une machine-tender d'un modèle particulier que nous devons décrire. Ce chemin, offrant un grand nombre de rampes de 1 centimètre et de courbes de 250 mètres de rayon, les machines destinées à le desservir devaient, tout en étant très-puissantes, pouvoir tourner facilement. Les départs étant fréquents, les stations nombreuses et peu éloignées les unes des autres, elles devaient aussi être disposées de manière qu'on pût les arrêter dans un espace très-court. Ces différentes conditions ont été parfaitement remplies par M. l'ingénieur Rhoné, qui en a rédigé le projet.

La machine avec son tender, la chaudière étant remplie d'eau et le tender portant sa charge, pèse 32 tonnes. La chaudière et le tender, unis invariablement, sont portés sur six roues, dont quatre sont placées sous la chaudière. Ces quatre roues seulement sont couplées, les essieux extrêmes sont peu écartés. Le frein agit en même temps sur les deux roues d'arrière de la machine proprement dite et sur les deux roues portant le tender. On presse sur les sabots au moyen de deux pistons de 35 centimètres de diamètre avec une très-petite course. La vapeur est introduite dans les cylindres qui contiennent ces deux pistons à l'aide d'une manette horizontale qui fait glisser un tiroir. La même manette sert à conduire la vapeur dans le tender quand la machine est en stationnement.

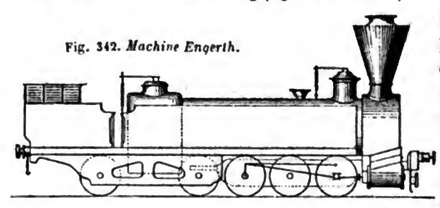
Une autre manette semblable, placée symétriquement de l'autre côté de la chaudière, sert à introduire la vapeur dans

deux cylindres dont les pistons communiquent le mouvement à des pompes alimentaires ; cette machine auxiliaire, qui seule fait marcher les pompes, est de la force de deux chevaux. Enfin on remarque au-dessus de la chaudière deux sifflets. Le son de l'un est grave, l'autre est aigu ; ils servent ainsi à donner des signaux différents.

Le frein à vapeur est très-puissant, mais on ne peut le faire agir que si la machine est en vapeur. Il est vrai qu'à l'exception du cas où elle descend d'elle-même sur de fortes pentes, on n'est pas appelé à en faire usage.

Il n'existe encore aucune machine Engerth sur les chemins français, mais les Compagnies de l'Est, de Lyon, du Nord et du Midi viennent d'en commander un certain nombre pour leur service de marchandises.

La machine du Sommering (fig. 342 et 343) se compose de la machine proprement dite et de son tender unis invariablement.


Fig. 342. *Machine Engerth.*

L'ensemble porte sur dix roues. On distingue le train de la machine, composé de six roues accouplées placées sous la chaudière, et le train du tender, composé de quatre roues accouplées, dont deux supportent une portion du tender qui s'étend au-dessous de la chaudière. Les deux essieux extrêmes du train de la chaudière ne sont écartés que de 1 mètre et ceux du train du tender de $2^{m},69$. L'essieu de devant du train du tender et celui d'arrière du train de la machine portent des roues dentées qui engrènent avec une roue intermédiaire fixée au train de la machine, en sorte que les dix roues se commandent et que cependant les deux trains peuvent tourner indépendamment l'un de l'autre dans le plan horizontal. C'est cette disposition, per-

Machine locomotive du Semmering, Système Engerth.

mettant aux machines Engerth de passer dans des courbes de petit rayon, qui caractérise cette machine. On peut au besoin, au moyen d'un embrayage, éviter d'employer l'appareil d'engrenage dans les parties du chemin où l'usage n'en est pas indispensable.

On a essayé, au passage du Sommering, des machines avec tender séparé dans lesquelles on avait établi la relation entre les roues de la machine et celles du tender au moyen de chaînes sans fin passant sur des disques à gorges fixés à l'essieu du tender et à celui d'arrière de la machine; mais ces chaînes se rompaient fréquemment, tandis que les roues dentées paraissent faire un excellent service. Le poids de la machine Engerth est de 48 tonnes, mais il ne fatigue pas trop la voie, parce qu'il est distribué à peu près également sur les dix roues. La surface de chauffe et, par suite, la puissance de ces machines, sont énormes. La charge qu'elles traînent est le double de celle que traînent les machines ordinaires à marchandises.

Les cylindres de ces machines sont extérieurs, le châssis est intérieur, le mécanisme est partie intérieur et partie extérieur.

Dans les machines commandées pour les chemins de l'Est et du Nord, on a un peu modifié la disposition des machines du Sommering. Ainsi, dans ces machines, le nombre de roues est de douze au lieu de dix, six pour la machine et six pour le tender. On a augmenté le diamètre des roues afin d'augmenter la vitesse (1^m,28 au lieu de 1^m,16). En outre, toutes les roues ne sont pas d'un diamètre égal comme au Sommering. Les deux dernières paires, à l'arrière du tender, sont plus petites. On suppose qu'on obtiendra suffisamment d'adhérence en couplant les six roues de la machine et les reliant par l'engrenage avec les premières roues du tender. Ces modifications sont motivées par la nature du service sur les lignes françaises, qui exige une plus grande vitesse sur un profil moins accidenté.

Le chemin du Nord fait aussi construire des machines mixtes du système Engerth.

Il y aura dans ces machines en tout quatre paires de roues.

Les deux paires de roues de la machine proprement dite ont $1^m,74$ de diamètre ; elles sont couplées. Les deux autres paires de roues, celles du tender proprement dit, sont du diamètre ordinaire des roues de tender et ne sont pas couplées. Chacune des paires de roues couplées portera 11 tonnes. L'adhérence totale sera donc de 22 tonnes, la machine pèsera en tout 38 tonnes. La cheville est placée entre la deuxième paire de roues de la machine et la première du tender. Les cylindres sont intérieurs avec un essieu coudé en acier fondu. On a dû renoncer aux cylindres extérieurs ; la machine eût été beaucoup trop chargée à l'avant, et l'Administration du chemin du Nord a admis en principe qu'elle ne voulait pas, au point de vue de la conservation de la voie, charger ses roues de machines de plus de 11 tonnes.

M. Crampton, pour diminuer le poids de sa machine, qui est considérable eu égard à la faible charge qu'elle remorque, propose d'y réunir le tender en y ajoutant une paire de roues.

A l'Exposition universelle de Londres, on remarquait plusieurs machines dans le système Crampton, parmi lesquelles il faut en citer deux qui méritent une mention particulière.

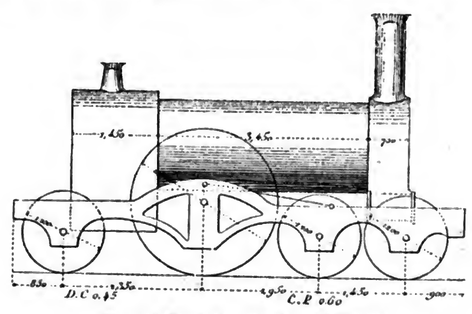


Fig. 314. *Machine express de Great-Western.*

Le *Lord-of-Isles* (fig. 344), machine express du Great-Western railway, chemin à large voie, attirait l'attention par ses

dimensions extraordinaires. Cette machine porte sur quatre essieux, dont deux sont à l'avant de l'essieu moteur et le quatrième derrière la boîte à feu.

La *Liverpool* (fig. 345), construite par M. Bury, ne diffère des machines express du chemin du Nord que par les dimensions colossales des surfaces de chauffe et par le nombre des roues. Elle

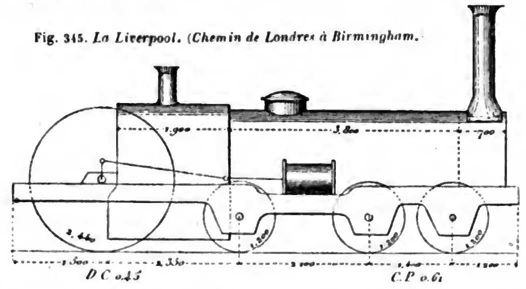


Fig. 345. *La Liverpool. (Chemin de Londres à Birmingham.)*

ne présente véritablement d'autre intérêt que celui qui s'attache à la lutte entre la voie large et la voie étroite. C'est une machine dont les surfaces de chauffe étaient encore plus grandes que celles du *Lord-of-Isles*, bien qu'elle fût destinée au chemin de Londres à Birmingham, dont la voie est étroite.

La figure 346 représente le modèle d'une machine-tender de grande dimension adoptée sur le chemin du Midi. Cette machine est un peu lourde et beaucoup trop chargée à l'arrière.

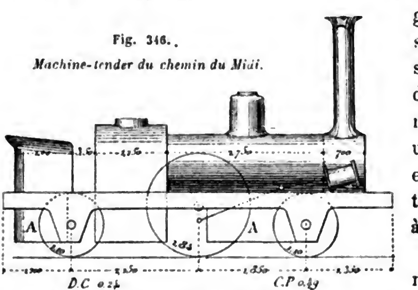


Fig. 346. *Machine-tender du chemin du Midi.*

Les machines - tenders (fig. 347) de petites dimensions sont employées avec

avantage sur les chemins où les départs ont lieu fréquemment avec de faibles charges, comme le chemin de Saint-Germain. On les emploie aussi volontiers pour le service des gares.

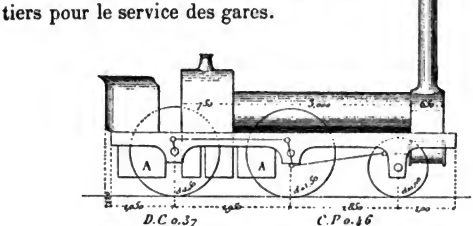


Fig. 347. *Machine-tender du chemin de Saint-Germain.*

DISPOSITIONS DE DÉTAIL DES MACHINES LOCOMOTIVES.

Nous venons de décrire les principaux organes dont se composent les machines locomotives, ainsi que les fonctions de chacun de ces organes ; puis nous avons indiqué les caractères les plus saillants des nombreux types qui sont adoptés sur les chemins de fer.

Il nous reste maintenant à faire connaître les dispositions de détail de ces machines. Nous conserverons dans cette partie de notre travail le même ordre que nous avons suivi jusqu'ici ; nous nous occuperons d'abord de l'appareil de vaporisation et de ses accessoires, puis du mécanisme moteur et de la distribution, et nous terminerons par la description du train qui supporte l'ensemble de la machine.

Dans un article spécial, nous décrirons les tenders qui forment une annexe indispensable de la machine locomotive.

Appareil de vaporisation. — Nous avons dit précédemment que l'appareil dans lequel se forme la vapeur se compose essentiellement de la boîte à feu, comprenant le foyer, son enveloppe et la grille, du corps cylindrique qui contient les tubes, et de la boîte à fumée surmontée de la cheminée. A ces appareils, nous ajouterons les accessoires suivants, dont le but est de prévenir les dangers inhérents à l'emploi de la

vapeur, d'augmenter et de régler la puissance vaporisatrice de la machine, et enfin de conduire cette vapeur aux cylindres.

Ces appareils sont :

Le cendrier et la grille de la boîte à fumée,

Les soupapes de sûreté, le manomètre, le niveau d'eau, les robinets d'épreuve, le sifflet;

Les robinets et tampons de vidange, le trou d'homme ;

Le tuyau d'échappement, le registre de la boîte à fumée, les portes du cendrier et de la cheminée ;

L'appareil de prise de vapeur.

Foyer. — Nous avons vu que les foyers des machines locomotives affectent la forme rectangulaire ou la forme circulaire. Les matériaux qui sont employés pour la construction des foyers sont le fer et le cuivre rouge.

Le fer présente de nombreux inconvénients. Il se détériore rapidement par l'action de la chaleur intense qu'il reçoit du combustible, et si, comme cela arrive fréquemment, il présente quelque défaut ou seulement une texture lamellaire, il se fissure et donne lieu à des fuites. *Quoique moins coûteux de premier établissement que ceux en cuivre, les foyers en fer sont aujourd'hui généralement abandonnés à cause des réparations continuelles auxquelles ils donnent lieu.*

Toutes les parois planes du foyer doivent être solidement armées afin qu'elles puissent résister à la pression de la vapeur qui tend à les déformer. A cet effet, les faces verticales des foyers rectangulaires sont réunies aux faces parallèles de l'enveloppe par le moyen d'*entretoises* en cuivre ou en fer. Ces entretoises (fig. 348) sont des petits cylindres de 2 centimètres de diamètre filetés dans toute leur longueur et par conséquent assemblés à vis dans les parois du foyer et de son enveloppe. Elles sont en outre rivées à leurs deux extrémités afin de présenter des joints parfaitement étanches. L'écartement d'une entretoise à l'autre est généralement de 10 à 11 centimètres.

Fig. 348.

Le ciel du foyer ne peut être armé de la même manière que les parois latérales, parce qu'il n'est parallèle à aucune partie de l'enveloppe. On le consolide au moyen d'armatures en fer forgé ou en tôle qui empêchent qu'il ne soit déformé et reportent la pression de la vapeur sur les faces verticales du foyer. Ces armatures affectent la forme parabolique : elles sont espacées généralement de 10 centimètres d'axe en axe et réunies au ciel lui-même par des boulons en fer ou en cuivre rouge qui sont filetés dans la plaque de ciel et s'appuient par le moyen d'un écrou sur les armatures.

La figure 349 représente une armature de machine

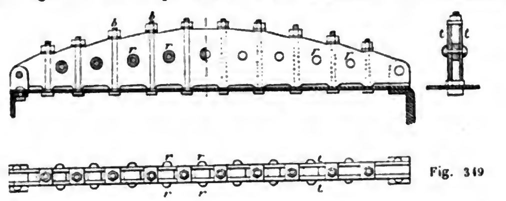


Fig. 349

Crampton composée de deux feuilles de tôle *t t* reliées par des rivets *r r*.

Les parois du foyer se composent généralement de trois feuilles de cuivre. Deux de ces feuilles composent les parois antérieure et postérieure ; elles sont pliées en cornières sur leur pourtour et sont réunies ainsi au moyen de rivets à la troisième, qui forme à la fois les deux parois latérales et le ciel. L'épaisseur de ces plaques est en général de 12 millimètres, sauf la plaque antérieure ou *tubulaire*, représentée en élévation et en coupe dans la figure 350, qui atteint, à l'endroit où la traversent les tubes, une épaisseur de 25 millimètres.

Le foyer est assemblé dans sa partie inférieure avec son enveloppe au moyen d'une cornière en bronze coulée d'une seule pièce (fig. 351) ou d'un cadre en fer (fig. 352). Cette dernière disposition paraît maintenant préférée. Un cadre analogue est interposé entre les parois postérieures du foyer et

de son enveloppe pour fermer la porte par laquelle on introduit le combustible.

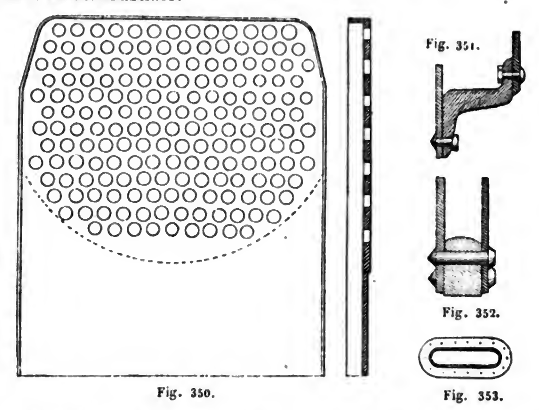


Fig. 350. Fig. 353.

Afin d'augmenter la surface de chauffe des machines locomotives sans modifier leurs dimensions extérieures, on place souvent dans le foyer un *bouilleur*, sorte de tube dont la section est représentée dans la figure 353. Ce bouilleur est fixé tantôt en long, reliant la plaque tubulaire à la plaque de la porte, tantôt en travers, reliant les deux côtés du foyer. Dans les deux cas, son arête supérieure *a* est placée un peu plus bas que la rangée inférieure des tubes.

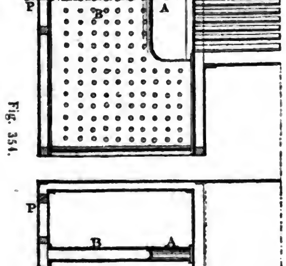


Fig. 354.

Ce genre de bouilleur est très-usité en Angleterre ; en France, on lui reproche d'être coûteux d'entretien.

Dans ses dernières machines, M. Crampton a divisé son foyer en deux compartiments au moyen d'un bouilleur longitudinal B (fig. 354) qui règne dans toute la hauteur. Une ouverture A, ménagée devant la plaque tubulaire, est le seul point où les deux compartiments communiquent; chacun d'eux a une porte de chargement P particulière.

On avait adopté cette disposition pour les machines à grande vitesse du chemin de Strasbourg; mais on a dû la supprimer, parce que le combustible, qui n'était pas de qualité supérieure, ne brûlait pas convenablement en aussi petite masse.

Grilles. — Les grilles des machines locomotives sont composées de barreaux en fer (fig. 355), indépendants, disposés dans le sens de la longueur de la machine et rapprochés autant que le permet le combustible que l'on emploie. Ils reposent sur un cadre en fer à demeure au bas du foyer ou mobile autour d'un axe placé près de la plaque tubulaire; dans ce cas, un appareil spécial que le mécanicien peut manœuvrer depuis sa plate-forme lui permet de renverser la grille et de jeter le feu quand, par une cause quelconque, le niveau de l'eau a baissé dans la chaudière de manière à la compromettre. Quand la longueur de la grille dépasse $1^{m},20$, on la compose ordinairement de deux rangées de barreaux supportés par une traverse placée sous le milieu du foyer. Il est alors prudent de rendre mobile la moitié postérieure de la grille. On a aussi employé des grilles en fonte coulées d'un seul morceau; mais elles ont été abandonnées, parce qu'il est bon de pouvoir les remplacer par parties quand elles sont détériorées par le mâchefer qui se forme pendant la combustion du coke.

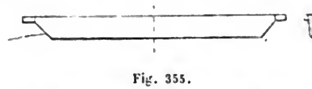
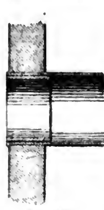


Fig. 355.

Tubes. — Dans l'origine, les tubes étaient en cuivre rouge. Ils se détruisaient rapidement par le frottement des particules de coke entraînées par le tirage; *aussi a-t-on substitué le laiton*

au cuivre rouge. Les tubes en laiton furent employés pour la première fois en 1833, à l'instigation de M. Dixon, ingénieur résidant au chemin de Liverpool à Manchester. Ils sont faits en laiton laminé de première qualité de 2 millimètres d'épaisseur. On découpe des bandes de largeur convenable et de toute la longueur que doivent avoir les tubes; on chanfreine ces bandes sur leurs longs côtés, de manière à pouvoir les superposer de 1 centimètre sans qu'il en résulte de surépaisseur dans les tubes. On les enroule sur un mandrin et on réunit les bords par une soudure; on les fait passer à travers une filière en acier afin que leur surface extérieure soit parfaitement cylindrique. Le diamètre intérieur des tubes est assez généralement de 45 millimètres, leur diamètre extérieur de 49 millimètres. Pour des tubes de cette dimension, l'écartement d'axe en axe ne doit pas être moindre de 63 millimètres; sans cela, le passage de la vapeur entre les tubes devient difficile. Ils sont disposés par rangées horizontales.

L'assemblage des tubes avec les plaques tubulaires (fig. 356) se fait de la manière suivante. Après avoir mis le tube en place, on le fait appliquer exactement contre les parois des trous pratiqués dans les plaques tubulaires en enfonçant à chaque extrémité un mandrin en acier légèrement conique. Puis l'on chasse à coups de masse une *bague* ou *virole* en acier dans chaque bout du tube ainsi préparé, et l'on matte ces bouts afin de compléter les joints.


Fig. 356.

Les viroles ne doivent pas avoir plus de 2 millimètres d'épaisseur, afin de ne pas trop rétrécir les orifices des tubes. Quelquefois on emploie des bagues en fer du côté de la boîte à fumée.

Quand on emploie le bois comme combustible, on supprime souvent les viroles.

Les tubes en laiton sont aujourd'hui de trois espèces : 1° les tubes soudés sur leur longueur (usine de Romilly); les tubes

étirés (Laveissière), et enfin les tubes martelés et sans soudure (Estivan à Givet). On emploie les trois systèmes aux chemins de l'Est, sans donner la préférence à aucun.

Quelques constructeurs ont voulu remplacer les tubes en laiton par des tubes en fer creux étiré. Ces tubes s'altèrent par places et donnent lieu à des réparations coûteuses; toutefois au chemin d'Orléans on continue à en faire usage dans plusieurs machines, et on espère parvenir à en corriger les défauts.

Les tubes s'usent au bout d'un certain temps, soit par le frottement du combustible, soit par l'action de la chaleur. Cette usure affecte surtout les tubes du milieu et ceux des rangées inférieures par leurs extrémités voisines du foyer.

Quand un tube fuit, on fend les viroles avec un ciseau et on les replie en dedans pour pouvoir les enlever, puis on sort le tube et on le visite pour voir si l'usure est locale ou générale. Si l'extrémité seule est endommagée, on la coupe, on soude un bout et l'on replace le tube.

Chaudière proprement dite.—Nous avons déjà vu que l'enveloppe du foyer est sensiblement parallèle à ce foyer jusqu'à la hauteur du ciel, et qu'à partir de ce point elle est recouverte par un dôme semi-cylindrique ou pyramidal. La jonction des différentes feuilles qui composent cette enveloppe se faisait anciennement au moyen de cornières en tôle recourbées ; maintenant on préfère emboutir les feuilles antérieure et postérieure de la boîte à feu extérieure, comme on le fait pour le foyer. Cette disposition a l'avantage de diminuer le nombre des joints.

Par la même raison, l'on supprime actuellement la cornière en tôle qui assemblait la paroi antérieure de la boîte à feu avec le corps cylindrique de la chaudière, et l'on emboutit cette feuille, qui présente alors la forme indiquée (fig. 357). La jonction du corps cylindrique avec la plaque tubulaire de la boîte à fumée se fait au moyen d'une cornière.

Le corps cylindrique est généralement de section circulaire; cependant on l'a quelquefois ovalisé en donnant à son diamètre vertical $0^m,05$ à $0^m,06$ de plus qu'à son diamètre horizontal, afin de pouvoir augmenter le nombre des tubes tout en conservant une assez grande distance entre la surface de l'eau et la partie supérieure de la chaudière. Mais cette forme est vicieuse : elle n'offre pas la même résistance à la pression que la forme cylindrique.

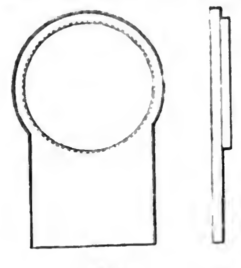


Fig. 357.

Réservoir de vapeur. — On augmente l'espace réservé à la vapeur au moyen du dôme pyramidal recouvrant la boîte à feu, ou au moyen d'un réservoir spécial en forme de cylindre placé tantôt au-dessus du foyer, tantôt en un point quelconque du corps de la chaudière.

C'est au-dessus du foyer que l'ébullition est la plus tumultueuse, de sorte qu'en ce point l'eau est projetée en plus grande quantité que partout ailleurs ; il paraît donc peu rationnel d'y placer l'orifice de la prise de vapeur. Mais, d'autre part, si l'on prend la vapeur près de la cheminée, toute celle qui se forme dans les autres parties de la chaudière en plus grande quantité qu'en ce point doit nécessairement lécher la surface de l'eau en ébullition avant d'y arriver. Il résulte de ces considérations que le moyen le plus efficace de prévenir l'entraînement de l'eau consiste à augmenter le diamètre du corps cylindrique autant que le permettent les autres organes de la machine (tels que ressorts ou roues), et de laisser une hauteur aussi grande que possible entre la surface de l'eau et la partie supérieure de la chaudière. Quand la distance verticale du ciel du foyer à la génératrice la plus élevée du corps cylindrique atteint $0^m,35$ à $0^m,40$, il nous paraît préférable d'effectuer la prise de vapeur près de la cheminée.

La forme de chaudière représentée dans la figure 358, imitée des machines Crampton, paraît prévaloir actuellement à cause de sa simplicité.

Le dôme de la boîte à feu est formé par la continuation du corps cylindrique de la chau-

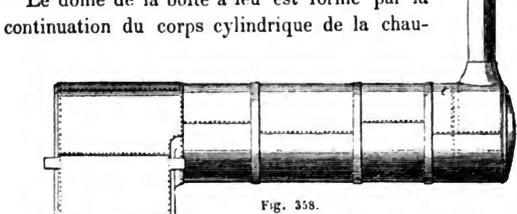


Fig. 358.

dière. La plaque tubulaire de la boîte à fumée est un simple diaphragme *t t* en tôle emboutie, rivé dans l'intérieur du corps cylindrique et séparant ainsi la chaudière proprement dite de la boîte à fumée.

Boîte à fumée. — Dans les premières machines à cylindres intérieurs, la boîte à fumée présentait, à fort peu de chose près, les mêmes dispositions que l'enveloppe de la boîte à feu ; sa partie inférieure contenait les cylindres auxquels elle servait de support. La plaque tubulaire en formait la paroi postérieure, et sa paroi antérieure était percée d'une ouverture fermée par une porte qu'on ouvrait pour nettoyer ou pour réparer les tubes. Actuellement on supprime la partie inférieure de cette boîte à la hauteur des cylindres qui lui servent quelquefois de fond. Enfin, en décrivant la chaudière Crampton, nous avons fait voir une dernière disposition de boîte à fumée.

Cheminée. — La cheminée fixée à la partie supérieure de la boîte à fumée est cylindrique. Elle est généralement évasée à sa base de manière à se raccorder avec la boîte à fumée. On l'assemble avec cette dernière au moyen de boulons, afin de pouvoir la démonter facilement quand il faut visiter ou réparer la tuyère de l'échappement.

Armatures de la chaudière. — Il faut armer avec soin toutes les parties de la chaudière qui seraient sujettes à être déformées

par la pression de la vapeur. Ainsi l'on réunit généralement la paroi postérieure de la boîte à feu à la plaque tubulaire de l'avant au moyen de forts tirants dans la partie située au-dessus des tubes. M. Polonceau et, après lui, plusieurs constructeurs ont employé dans leurs dernières machines de fortes cornières agissant comme les armatures du ciel du foyer, ce qui dégage le réservoir de vapeur de tous ces tirants fort incommodes et fort lourds. Cette disposition a prévalu dans toutes les nouvelles machines.

Chemise extérieure de la chaudière. — Quand une locomotive est en marche, l'air en contact avec les parois extérieures de sa chaudière est incessamment renouvelé; il en résulterait un refroidissement très-considérable de ces surfaces si elles n'étaient pas préservées. A cet effet, on les entoure d'une enveloppe en bois maintenue à une faible distance de la chaudière et contenue elle-même dans une seconde enveloppe en tôle mince, ou simplement cerclée de distance en distance. Autrefois on intercalait entre le bois et la chaudière des feuilles de feutre grossier, mais cette substance présente l'inconvénient de prendre très-facilement feu. Aujourd'hui on supprime même fréquemment le bois; l'air emprisonné entre l'enveloppe en tôle et la chaudière sert alors de couche isolante.

Soupapes de sûreté. — Le but des soupapes de sûreté est d'empêcher la vapeur de pouvoir acquérir dans la chaudière une tension trop élevée. Les règlements administratifs exigent la présence de deux soupapes de sûreté sur chaque générateur à vapeur, une à chaque extrémité. Néanmoins, dans les machines locomotives de construction récente, on les place toutes les deux au-dessus du foyer, afin qu'elles soient plus à portée du mécanicien dans le cas où elles viendraient à se déranger.

Les soupapes le plus généralement employées se composent d'un disque circulaire A (fig. 359) muni d'une tige centrale B. Le rebord *a a* du disque n'a que 1 ou 2 millimètres de largeur; il repose sur un siége qui présente un rebord semblable, lequel correspond à *a a* (fig. 360). Ces deux surfaces sont

exactement rodées l'une sur l'autre, afin de former un joint parfaitement étanche, c'est-à-dire imperméable à la vapeur. Le diamètre des soupapes est ordinairement de $0^m,10$; leur surface est donc de 78 1/2 centimètres carrés. Or, la pression

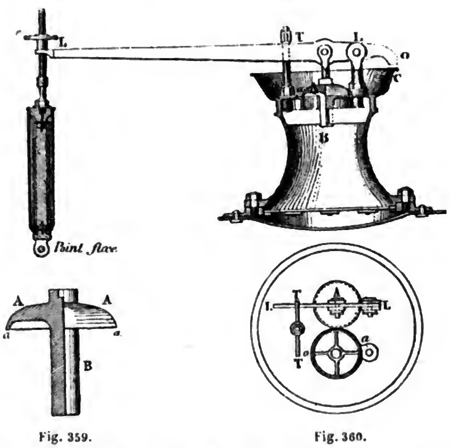


Fig. 359. Fig. 360.

de l'atmosphère est de $1^k,033$ par centimètre carré ; il faut donc, pour que la soupape commence à se lever quand la tension de la vapeur est égale à six fois celle de l'atmosphère, que cette soupape reçoive une surcharge additionnelle de $5 \times 1^k,033 \times 78,5 = 405^k,58$. Il est rare que cette pression soit obtenue directement ; presque toujours on se sert d'un levier L L (fig. 360) à l'extrémité libre duquel agit un ressort à boudin dont on peut augmenter ou diminuer la tension en serrant ou desserrant l'écrou *e*. Dans les machines fixes, la pression est produite sur le levier au moyen d'un poids qui est suspendu à son extrémité. Cette disposition ne pourrait convenir aux machines locomotives à cause des trépidations auxquelles elles sont exposées pendant leur marche. Le ressort est plus sujet à se déranger

que le poids, et sa tension augmente d'une manière sensible quand la soupape se lève; mais comme les locomotives sont soumises à une surveillance incessante et que le mode de construction des chaudières de locomotives les rend presque inexplosibles, ces inconvénients n'ont que peu d'importance. Aujourd'hui on emploie beaucoup les soupapes ou balances de MM. Lemonnier et Vallée, qui présentent une disposition fort ingénieuse au moyen de laquelle, dès que la pression s'élève d'une manière inquiétante, la soupape s'ouvre en grand et donne une large issue à la vapeur. Cet effet est obtenu au moyen d'un déclanchement fort ingénieux de la tige du ressort. Il arrive quelquefois que le ressort se brise ou que le point d'attache de l'appareil qui le contient vient à céder; alors la soupape est projetée au loin par la pression de la vapeur, et la machine se trouve hors de service. C'est pourquoi l'on dispose quelquefois une petite traverse TT qui limite la course du levier et empêche la soupape de quitter son siége. Il vaut mieux prolonger le levier, ainsi que l'indique la partie ponctuée de la figure 360, en sorte que sa course est limitée par l'espace compris entre le talon O du levier et le rebord de la cuvette C. Dans quelques anciennes machines, l'une des soupapes était placée à l'avant de la chaudière et entourée de façon à ne pas pouvoir être surchargée par le mécanicien; cette précaution a été reconnue inutile.

Bouchon fusible du foyer. — Si, par la négligence du mécanicien ou par suite d'une avarie des pompes alimentaires, le niveau de l'eau vient à baisser dans la chaudière de manière à laisser à découvert le ciel du foyer, celui-ci est immédiatement brûlé. On fixe au centre du ciel du foyer un bouchon (fig. 361) percé, suivant son axe, d'un trou conique qu'on remplit de plomb. Quand le niveau de l'eau découvre ce bouchon, le plomb entre en fusion, la vapeur se précipite dans le foyer et éteint le feu.

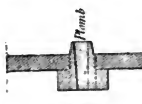


Fig. 361.

Niveau d'eau. — Il faut que le mécanicien connaisse à cha-

que instant, avec exactitude, à quelle hauteur l'eau se trouve dans la chaudière. A cet effet, un tube de verre *t* (fig. 362) est placé à côté de la porte du foyer et réuni à la chaudière par deux tubulures en bronze *t' t''*, dont l'une pénètre dans l'espace occupé par la vapeur, l'autre dans l'eau. Ces tubulures sont munies de robinets K et K', au moyen desquels on peut empêcher l'eau et la vapeur de s'échapper quand le tube vient à se briser. Un troisième robinet K'' sert à vérifier si les conduits sont bien libres en permettant de vider le tube. L'eau s'élève dans le tube à la même hauteur que dans la chaudière, pourvu que la communication soit bien établie dans le haut et dans le bas.

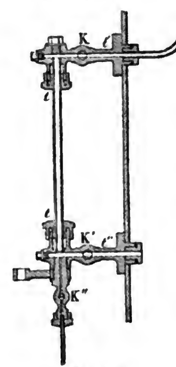


Fig. 362.

Robinets d'épreuve. — A côté du niveau d'eau se trouvent trois robinets R, R' et R'', dont le supérieur R doit toujours communiquer avec la vapeur et l'inférieur R'' avec l'eau. Ils jouent le même rôle que le niveau d'eau et le remplacent quand il est obstrué ou brisé.

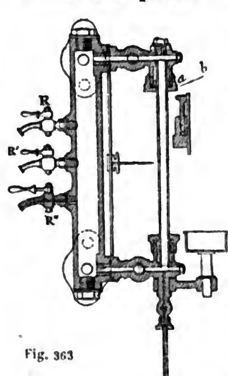


Fig. 363

On réunit souvent ces deux appareils en un seul appelé *clarinette* (fig. 363); mais cette disposition, imaginée par Stephenson, est vicieuse, parce qu'on est tout à coup privé de tout moyen de vérification si les canaux qui vont à la chaudière s'obstruent. Elle est d'ailleurs coûteuse.

Manomètre. — Pour que le mécanicien puisse tirer tout le parti possible de la machine qu'il dirige, il faut qu'il connaisse à chaque instant quelle est la tension de la vapeur dans la chau-

dière ; il faut surtout qu'il sache si cette pression tend à augmenter ou à diminuer. A cet effet, chaque machine doit être munie d'un manomètre.

Les manomètres à air libre des machines fixes ne peuvent convenir pour les machines locomotives à cause de la grande hauteur du tube, qui serait au moins de $3^m,80$; aussi n'a-t-on employé pendant longtemps que des manomètres à air comprimé. Ces derniers sont peu sensibles et leurs indications se faussent fréquemment ; on leur substitue aujourd'hui des manomètres à air libre dans lesquels la pression de la vapeur s'exerce sur un petit piston, tandis que la colonne de mercure agit sur un autre piston dont la surface est environ vingt fois plus grande. Ces deux pistons étant rendus solidaires l'un de l'autre, il en résulte que chaque atmosphère est représentée par une colonne de mercure de $\frac{0^m,76}{20} = 0^m,038$.

Cet instrument, qui a été inventé par M. Galy-Cazalat, est plus généralement connu sous la dénomination de *manomètre de Journeux*, du nom de l'industriel qui s'occupe de sa construction.

La *manomètre Bourdon* se compose d'un tube métallique enroulé en forme de spirale. La vapeur qui agit dans l'intérieur de ce tube tend à le redresser ; une aiguille est mise en mouvement quand cet effet a lieu et indique sur un cadran la valeur de la déformation et l'intensité de la cause qui l'a produite.

Le *manomètre de Desbordes* est adopté aujourd'hui sur plusieurs lignes. Dans cet appareil, la tige du petit piston sur lequel agit la vapeur vient appuyer sur une lame d'acier, placée horizontalement, dont les extrémités sont fixes et la force à prendre une courbure plus ou moins prononcée suivant la pression de la vapeur. Cette lame ainsi poussée fait l'office de levier sur un arc de cercle en cuivre denté communiquant au pignon sur lequel est fixée l'aiguille dont le mouvement de rotation indique la pression de la vapeur.

Sifflet. — Le sifflet représenté fig. 364 sert à signaler l'ap-

proche de la machine. Il consiste en une cloche portée sur une tige verticale et dont les bords, taillés en biseau, sont placés à une petite distance au-dessus d'un vide annulaire très-étroit ménagé entre les bords d'une espèce de godet semi-sphérique et d'un champignon en métal. Au moyen d'un robinet ou d'une petite soupape, le mécanicien peut admettre de la vapeur dans la partie inférieure de cet appareil ; cette vapeur s'échappe par la fente annulaire, et en frappant contre les bords de la cloche produit un son qui s'entend de fort loin. On emploie pour la cloche du bronze de même composition que celui des timbres de pendules.

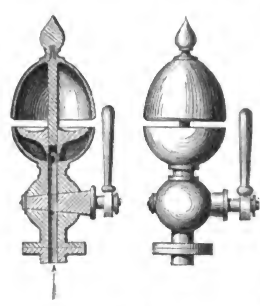


Fig 364.

Trou d'homme. — Le trou d'homme sert à visiter l'intérieur de la chaudière et surtout le régulateur. Quelquefois il n'y a pas de trou d'homme spécial ; alors le dôme de prise de vapeur peut se démonter près du corps de la chaudière. Dans les machines à dôme pyramidal, le trou d'homme est fermé par un disque autoclave, comme dans les chaudières des machines fixes ; il est généralement placé sur la face antérieure de ce dôme.

Robinets et tampons de vidange. — La quantité d'eau vaporisée par les machines locomotives est très-considérable, et cette eau est toujours chargée d'une certaine quantité de sels à l'état de dissolution. Souvent elle est aussi troublée par la présence de dépôts vaseux dont on ne pourrait se défaire que par une filtration lente et coûteuse. Or, on sait que la vapeur qui se produit contient peu ou point de ces substances ; il en résulte qu'elles restent presque en totalité dans la chaudière, dans laquelle elles forment des dépôts vaseux ou adhérents aux surfaces. Après un certain parcours, dont la longueur varie avec

la pureté des eaux employées, il devient nécessaire de vider complétement la chaudière.

Les *robinets de vidange*, généralement au nombre de deux, sont fixés dans le bas de la boîte à feu. Quand on les ouvre, la totalité de l'eau contenue dans la chaudière s'écoule, et l'on peut procéder au lavage de cette chaudière. Souvent ils portent à leur extrémité un pas de vis sur lequel on adapte un boyau en cuir qui communique avec le réservoir dans lequel se trouve l'eau d'alimentation, disposition qui facilite beaucoup le remplissage de la machine quand on veut la mettre en service (fig. 365). On perce aussi dans les quatre angles inférieurs de la boîte à feu et dans le bas de la plaque tubulaire de la boîte à fumée des trous fermés au moyen de tampons à vis en cuivre (fig. 366). D'autres fois, on fait usage de fermetures autoclaves. Quand la chaudière est vide, on introduit dans l'un de ces trous la lance d'une pompe à incendie dont le jet enlève les matières détachées au moyen d'une tringle en cuivre que l'on manœuvre par le trou opposé.

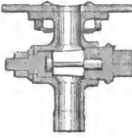


Fig. 365.

Fig. 366.

Dans les machines construites par M. Polonceau en 1849 et 1850, pour la ligne d'Orléans, on a employé des robinets à cône formant soupape, qui ne présentent pas les inconvénients des anciens robinets, et on les dispose pour les différents usages auxquels ils sont destinés.

Les robinets qui ne doivent être ouverts qu'un instant sont les plus simples. Le corps du robinet est un tube droit, taraudé intérieurement sur une partie de sa longueur, présentant au-dessous du taraudage un rétrécissement qui forme un siége conique. La clef se termine par un cône et porte une partie taraudée qui s'engage dans celle correspondante du corps du robinet. En faisant tourner la clef, le cône fait obturateur en portant sur son siége. On donne issue à la vapeur ou au liquide par un orifice latéral, placé entre le rétrécissement conique et le taraudage.

La vis devant être assez lâche pour permettre au cône de se centrer sur son siége, il en résulte qu'elle permet des fuites lorsque le robinet doit rester longtemps ouvert; malgré cet inconvénient, la disposition est très-convenable pour les robinets de vérification de la chaudière et pour ceux d'épreuve des pompes.

D'autres robinets, tels que ceux du niveau d'eau, doivent rester constamment ouverts et n'être fermés qu'en cas d'accident ou de vérification. Pour les rendre étanches, on a disposé deux cônes opposés par leur grande base, de manière que, soit en tournant, soit en détournant la vis, il y ait fermeture antérieure ou postérieure. Dans ce cas, pour introduire les cônes, il faut ajouter au corps du robinet un écrou fileté à l'intérieur et à l'extérieur; cet écrou sert à guider et à faire marcher la tige; à l'intérieur se trouve une portée conique pour recevoir le contre-cône.

Enfin, d'autres robinets doivent pouvoir s'ouvrir de quantités variables et rester ouverts pendant un certain temps; c'est ce qui a lieu pour les robinets réchauffeurs. On a alors adapté sur la partie lisse de la tige de ces robinets un presse-étoupe serré par l'écrou taraudé à l'intérieur, qui sert de guide à la tige de l'obturateur.

Ces différents robinets à cônes mis en essai sur quelques machines, et appliqués depuis d'une manière générale sur les cinq dernières machines construites pour le chemin d'Orléans, ont donné les résultats les plus satisfaisants; ils fonctionnent toujours parfaitement et sans fuites; ils ont présenté, sur tous ceux en usage jusqu'alors, une très-grande supériorité, tant sous le rapport du service que sous celui de l'entretien.

L'emploi des robinets à cônes se généralisera sans doute et remplacera dans presque tous les cas celui des robinets à boisseaux ordinaires.

Il est probable que ce système permettra de construire les robinets avec des alliages peu coûteux et sans beaucoup de

travail; car on voit les robinets construits sur ces mêmes principes, pour les appareils à eau de Seltz, qui sont très-grossiers et très-économiques, résister à des pressions bien supérieures à celles des chaudières de locomotives. On fait en ce moment quelques essais dans ce sens.

Robinets de graissage pour les cylindres. — Jusqu'ici, pour le graissage des cylindres, on s'était contenté d'introduire, avant le départ, une certaine quantité de matière grasse, au moyen d'un robinet ordinaire.

Malgré la précaution de marcher avant le graissage pour échauffer le cylindre, ce dernier ne se trouvait jamais, au moment du départ, qu'à une température très-inférieure à celle de la vapeur introduite. Une notable quantité d'eau, résultant de la condensation, était alors projetée au premier coup de piston, avec l'huile qui surnageait à sa surface, de telle sorte que le graissage était presque nul.

Voulant obtenir un graissage continu, M. Polonceau avait essayé de placer sur le cylindre un réservoir fermé à l'air, dans lequel une mèche se trouvait placée entre deux tubes concentriques, de manière à ne pouvoir être ni aspirée ni rejetée dans les changements de pression. Le tube extérieur recevait l'huile, le tube intérieur était destiné à mettre en équilibre de pression le réservoir d'huile et le cylindre. Mais l'eau, se condensant dans le réservoir d'huile, élevait promptement le niveau du liquide, et l'huile qui était à la surface, débordant dans le tube conduisant au cylindre, était entraînée en très-peu de temps.

Il a donc fallu renoncer à l'emploi de la mèche; elle a été remplacée par une petite soupape placée au fond de la capacité fermée faisant godet à l'huile, soupape dont la levée est réglée à volonté au moyen d'une vis de pression. A chaque admission de vapeur, la pression dans le cylindre soulève la soupape et, lors de l'échappement, une goutte d'huile est introduite. La vapeur, en traversant l'huile et s'y condensant en partie, forme une émulsion qui fait durer le graissage plus longtemps

que ne le comporterait la quantité d'huile introduite. Ces robinets graissent pendant 12 à 15 kilomètres au moins, avec une levée de soupape d'un quart de kilogramme environ.

Au lieu de placer ces robinets au milieu du plateau d'avant des cylindres, comme on a l'habitude de le faire, ce qui a l'inconvénient de faire tomber l'huile au fond du cylindre, près de la lumière d'introduction et de sortie, sur une partie que n'atteint pas le piston, ils ont été posés sur le dessus du cylindre, de manière que l'huile soit rencontrée par le piston.

Cendrier. — Les petits fragments de combustible qui passent à travers la grille (*escarbilles*) sont souvent entraînés par le courant d'air que produit le mouvement de la machine et des roues. Si alors ils rencontrent les roues, ils sont lancés à une grande distance par les raies de ces roues et peuvent occasionner des incendies. Pour parer à cet inconvénient, on dispose généralement sous la grille de la machine un cendrier, sorte de caisse en tôle rectangulaire ouverte sur le devant. Cet appareil remplit son but d'une manière assez convenable, mais il nuit au tirage et rend difficile l'extinction du feu en marche. Quelquefois on supprime la plus grande partie du fond du cendrier. Sur le chemin de l'État, en Bavière, on le compose, d'après M. Lechâtelier, de quatre feuilles de tôle mobiles chacune autour d'un axe et reliées entre elles comme les lames de persiennes mobiles. Une tringle aboutissant sur la plate-forme de la machine, et dont la poignée est à la portée du mécanicien, sert à ramener les quatre feuilles dans une position verticale quand on veut jeter le feu ou vider le cendrier. Lorsqu'on brûle du bois, l'orifice antérieur du cendrier est fermé par un treillis mécanique qui empêche la projection des étincelles.

Grille de la boîte à fumée. — Les flammèches entraînées par le tirage en dehors de la cheminée peuvent occasionner des sinistres tout comme celles de la grille. C'est pourquoi l'on

plaçait dans les anciennes machines une espèce de tamis ou crible en fil de fer au sommet de la cheminée ou à sa partie inférieure. Cet appareil nuit au tirage, aussi l'a-t-on remplacé partout par une plaque en tôle percée de trous ou par une grille en fil de fer galvanisé, placée dans la boîte à fumée un peu au-dessus de la rangée supérieure des tubes.

Dans les machines où l'on brûle du bois, on fait usage d'un appareil plus compliqué, connu sous le nom d'*appareil de Klein* (fig. 367), et que M. Lechâtelier décrit de la manière suivante :

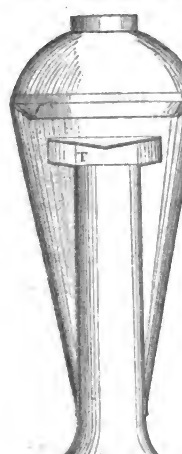




Fig. 367.

« Cet appareil est fondé sur la séparation ou le départ qui s'opère entre les matières de densités très-différentes lorsqu'elles sont entraînées dans un même courant qui éprouve une inflexion brusque. Il se compose de deux parties principales : la première est une sorte de turbine T en forme de ventilateur à aubes courbes, fixée d'une manière invariable sur le sommet de la cheminée ; des deux surfaces entre lesquelles sont intercalées les aubes, l'une (inférieure) est percée d'un trou de même diamètre que la cheminée, l'autre est de forme conique renversée et présente son sommet dans l'axe de la cheminée ; celle-ci est réduite aux trois quarts environ de sa hauteur ordinaire. Les flammèches en sortant avec le courant de vapeur viennent frapper le cône renversé, se réfléchissent horizontalement ou de haut en bas, glissent à la surface des aubes courbes et s'échappent tangentiellement à leur dernier élément de courbure. La seconde partie consiste dans une

chemise formée de deux troncs de cônes, réunis par un anneau cylindrique, qui embrasse la cheminée sur les deux tiers ou sur la moitié de sa hauteur et l'appareil à aubes courbes tout entier; le cône inférieur est renversé et de forme allongée, le cône supérieur est très-aplati et sa base supérieure ouverte livre une issue à la vapeur et au gaz de la combustion. Cette cheminée présente exactement la forme de la chemise d'un haut fourneau renversée. Les flammèches en sortant de la turbine tangentiellement aux aubes viennent frapper la chemise conique sous un angle très-aigu, glissent sur sa surface, et, lorsque leur mouvement giratoire a été ralenti par le frottement, tombent dans l'espace compris entre la cheminée et le sommet inférieur du cône d'où on les extrait de temps en temps par une petite porte ménagée à cet effet. Pour retenir les flammèches qui, dans leur mouvement de rotation contre les parois de la cheminée, tendraient à s'élever et à rentrer dans la circulation de vapeur et de gaz, on a placé une feuille de tôle faisant saillie à l'intérieur au raccordement du cône inférieur et de la partie cylindrique. Le courant gazeux, après avoir subi une double inflexion brusque, s'échappe par l'orifice supérieur, complétement débarrassé de flammèches. Tous les passages ouverts au courant de vapeur et de gaz ont une section beaucoup plus considérable que celle de la cheminée; par suite, le tirage n'éprouve pas de diminution notable. Cet appareil n'a qu'un inconvénient assez faible, c'est d'augmenter le volume de la cheminée et de présenter une surface plus grande à l'action du vent, mais cette surface se trouve tout au plus double de celle des cheminées ordinaires. La chemise dans sa plus grande largeur présente un diamètre triple de celui de ces cheminées.»

Échappement. — Le tuyau d'échappement qui conduit la vapeur des cylindres dans la cheminée s'élève quelquefois verticalement au milieu de la boîte à fumée, ou bien il se compose de deux branches (culottes) fig. 368 et 369, qui se réunissent en un tronc commun près du point où elles débouchent dans la cheminée. Les tuyaux d'échappement sont ordinairement en cuivre

rouge, quelquefois on les fait en fonte. Il faut éviter autant que possible de leur donner des coudes brusques, afin de ne pas

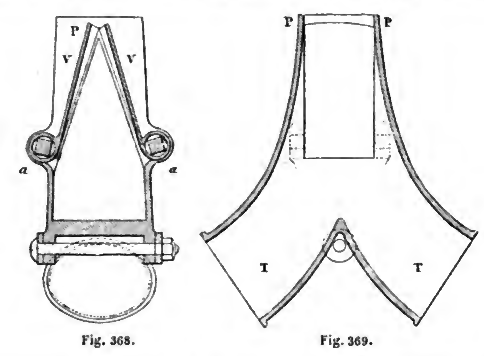


Fig. 368. Fig. 369.

augmenter inutilement la contre-pression de la vapeur sur le piston. Il est utile de pouvoir faire varier à volonté la section de l'orifice d'échappement, car plus on rétrécit cet orifice, plus le tirage est énergique, mais aussi plus la contre-pression est forte; il faut donc le maintenir toujours aussi ouvert que le permet la combustion. De nombreux appareils ont été proposés pour *rendre l'échappement variable ;* nous ne décrirons que le suivant qui a d'abord été employé sur le chemin de fer de Strasbourg à Bâle, puis adopté suc-

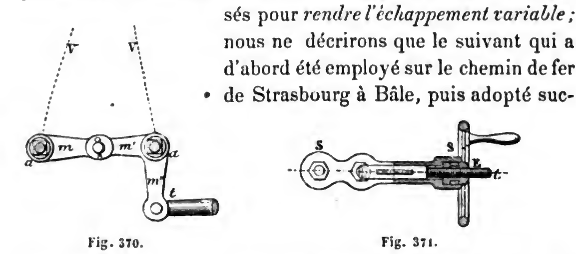


Fig. 370. Fig. 371.

cessivement sur toutes les autres lignes. Les tuyaux d'échappement T (fig. 368 et 369) se terminent par deux surfaces planes parallèles PP entre lesquelles glissent en tournant autour d'axes *aa* deux valves arrondies VV. Les axes *aa* sont prolongés au

dehors de la boîte à fumée et peuvent être manœuvrés par le mécanicien au moyen de la tringle filetée *tt* (fig. 370 et 371), des petites manivelles *m*, *m'*, *m"* et du volant écrou E dont le support S est fixé sur la boîte à feu.

Registre. — Quand on veut diminuer l'énergie du tirage d'une machine en marche, on ouvre une petite porte à coulisse placée sur le côté de la boîte à fumée. Il en résulte un appel d'air considérable qui diminue d'autant la quantité d'air qui traverse le combustible. On manœuvre généralement cette porte au moyen d'une longue tringle qui longe le corps cylindrique de la chaudière et se trouve ainsi à la portée du mécanicien.

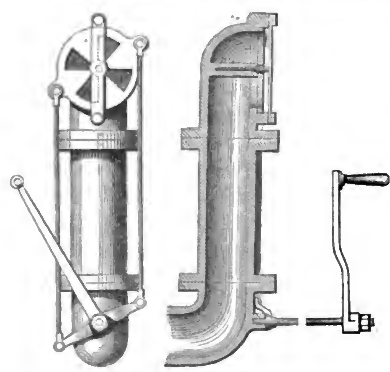
Porte du cendrier et capuchon de la cheminée. — Il est utile, quand une machine stationne, de pouvoir annuler presque complétement le tirage. A cet effet on place souvent une porte mobile devant la bouche du cendrier ; cette porte qui tourne autour d'un axe horizontal se manœuvre depuis la plateforme du mécanicien. En la fermant plus ou moins on peut aussi modérer l'énergie de la combustion en marche. Enfin on ferme l'orifice supérieur de la cheminée au moyen d'un obturateur ou *capuchon* mobile autour d'un axe vertical qui descend le long de la cheminée; cet appareil complète l'ensemble des dispositions qui permettent de rendre la consommation de combustible très-faible pendant les stationnements.

Régulateur. — Le régulateur, dont nous avons défini les fonctions, page 222, présente des dispositions qui varient à l'infini.

Dans les premières machines il consistait en un robinet ou en une soupape qu'on manœuvrait de l'extérieur au moyen d'un arbre tournant ou d'une vis. Les robinets étaient sujets *à gripper*, c'est-à-dire que l'adhérence entre les deux surfaces frottantes devenait parfois si considérable qu'il était impossible de les faire glisser l'une sur l'autre; les soupapes pressées directement par la vapeur étaient très-difficiles à séparer de

leur siége et les joints de ces deux appareils, rodés par le passage de la vapeur, cessaient bientôt de fermer hermétiquement le conduit.

Dans le *régulateur à papillon* (fig. 372) l'extrémité du tuyau éducteur est fermée par un diaphragme dont la surface est dressée avec soin. Ce diaphragme est percé de quatre ouvertures situées sur deux diamètres perpendiculaires entre eux; la largeur de ces ouvertures est un peu moindre que celle des pleins qui les séparent. Un disque mobile circulaire, qu'on appelle *papillon*, s'applique sur la face dressée du diaphragme; il est guidé dans son mouvement par une tige centrale qui pénètre dans la partie fixe du régulateur et il est percé d'ouvertures tout à fait semblables à celles du diaphragme. Si l'on fait tourner le disque mobile autour de son axe jusqu'à ce que ses parties pleines viennent correspondre aux ouvertures de la partie fixe, le passage de la vapeur sera interrompu. En faisant correspondre plus ou moins exactement les deux séries d'orifices, on livrera à la vapeur un passage plus ou moins grand. Un ressort qui appuie sur le disque mobile le force à rester constamment appliqué sur son siége. On manœuvre le papillon au moyen d'un arbre à manivelles qui sort de la chaudière en traversant un presse-étoupes et au moyen de deux petites bielles pendantes. Ce régulateur grippe rarement, mais il donne assez souvent lieu à des fuites de vapeur


Fig. 372.

parce qu'il s'interpose des matières étrangères entre les deux surfaces frottantes, et il s'use inégalement.

Le régulateur à tiroir (fig. 373) présente beaucoup d'analogie avec le précédent; il se compose généralement d'une plaque rectangulaire mobile percée d'un ou de plusieurs orifices ou lumières également rectangulaires. Cette plaque glisse sur une table fixe percée d'orifices analogues : si les vides du tiroir mobile correspondent aux vides du siége, le régulateur est ouvert et livre passage à la vapeur; si, au contraire, les pleins du tiroir correspondent aux vides du siége, le régulateur est fermé et la vapeur ne passe pas. Le régulateur à tiroir est mis en mouvement comme celui à papillon, il doit avoir une surface aussi faible que possible, afin qu'il ne soit pas trop dur à manœuvrer.

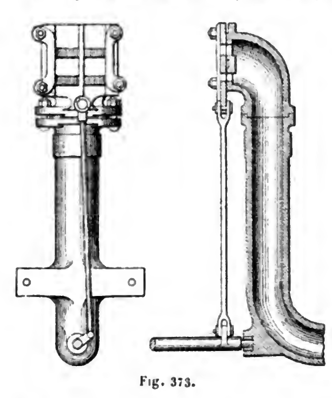


Fig. 373.

Dans plusieurs machines de construction récente on a disposé le régulateur à tiroir comme l'indique la fig. 374. La tige du tiroir sort directement de la caisse en fonte dans laquelle il se trouve, et traverse deux presse-étoupes; on la manœuvre au moyen d'un levier à poi-

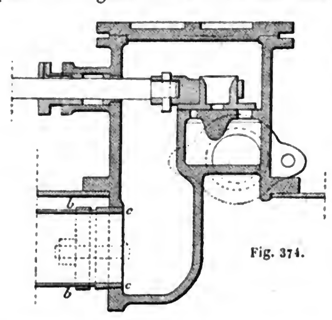


Fig. 374.

gnée placé sur la boîte à feu. Cette disposition est avantageuse dans les machines dont le réservoir de vapeur est partout assez haut pour qu'il n'y ait que peu ou point d'eau entraînée avec la vapeur. Elle permet de visiter et de réparer très-facilement le régulateur. Quand on l'emploie on effectue la prise de vapeur au moyen du tuyau à fente longitudinale dont nous avons parlé page 223.

Tuyau de conduite de la vapeur. — Le tuyau par lequel la vapeur se rend de la chaudière aux cylindres est généralement en cuivre rouge, sauf dans la partie où se trouve le régulateur et celle où commencent les conduites distinctes des deux cylindres. L'assemblage du tube avec la partie fixe du régulateur mérite d'être décrit : un cône en laiton placé à l'extrémité du tuyau en cuivre pénètre dans un cône intérieur exactement semblable alézé dans la fonte ; les deux parties sont serrées l'une contre l'autre au moyen de deux boulons et d'un collier.

Quand le régulateur n'est pas extérieur, la partie horizontale du tuyau de prise de vapeur traverse la plaque tubulaire de la boîte à fumée sur laquelle elle est boulonnée ainsi que la culotte en fonte au moyen de laquelle s'opère la bifurcation.

Sur cette culotte ou sur la boîte du régulateur, quand il est extérieur, s'assemblent les tuyaux spéciaux de chacun des deux cylindres. Ces tuyaux sont en cuivre rouge ; ils suivent les parois de la boîte à fumée afin de ne pas cacher les tubes à fumée. Quand ils sont extérieurs, ils s'appliquent sur la chaudière et sont recouverts d'une enveloppe en tôle mince qui empêche le refroidissement.

Quelquefois leur joint sur la boîte à tiroir se fait au moyen d'un presse-étoupes, afin de ne pas contrarier les dilatations.

La somme des sections des deux tuyaux doit être égale à celle du tuyau principal.

MÉCANISME MOTEUR ET DISTRIBUTION.

Dans ce paragraphe nous aurons à décrire :

Les cylindres, les boîtes à vapeur, les pistons, les tiroirs et leurs accessoires ;

Les glissières, les têtes de piston, les bielles, manivelles et le mécanisme qui opère la distribution ;

Les modifications qu'on a fait subir à l'appareil de distribution pour utiliser la détente de la vapeur.

Cylindres et boîtes à vapeur. — Nous avons vu que l'appareil moteur consiste en deux parties parfaitement symétriques disposées de part et d'autre de l'axe de la machine.

Le cylindre est un tube en fonte de 20 à 25 millimètres d'épaisseur dont la paroi intérieure est parfaitement alézée, c'est-à-dire tournée de manière à former un cylindre parfait et exempt de toute saillie et de toute rugosité. A ses deux extrémités le cylindre est muni de brides, sorte d'anneaux venus de fonte avec lui et sur lesquels s'assemblent le fond et le couvercle. La bride du fond située à l'arrière du cylindre est souvent intérieure, disposition qui donne à l'assemblage plus de solidité et au joint plus de durée. La bride du couvercle située à l'avant est toujours extérieure, sans quoi elle rétrécirait l'ouverture du cylindre et s'opposerait à l'introduction du piston. Cette disposition est motivée ; en effet il est extrêmement rare que l'on retire le fond d'un cylindre dans une machine en service, tandis qu'il faut enlever le couvercle toutes les fois qu'il y a lieu de visiter ou de réparer le piston ou la surface intérieure du cylindre. Les brides doivent être bien dressées, c'est-à-dire parfaitement planes et perpendiculaires à l'axe du cylindre ; le fond et le couvercle sont également dressés et fixés sur le cylindre au moyen de boulons ; ils présentent tous deux une saillie cylindrique ou entrée de $0^m,05$ à $0^m,06$ de longueur qui pénètre dans le cylindre et sert à les centrer. Afin de rendre le joint complétement étanche, on interpose entre les deux surfaces une ficelle goudronnée entourée de mastic au minium.

Les *lumières d'introduction*, *l l* (fig. 375) partent toutes deux *de la table du cylindre*, et viennent aboutir aux deux extrémités de ce cylindre aussi près de la bride que possible ; leur prolongement est marqué sur les entrées du fond et du couvercle; elles sont de forme rectangulaire et présentent chacune une section d'environ $\frac{1}{10}$ de celle du piston.

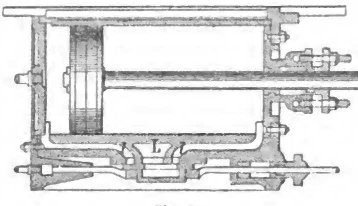
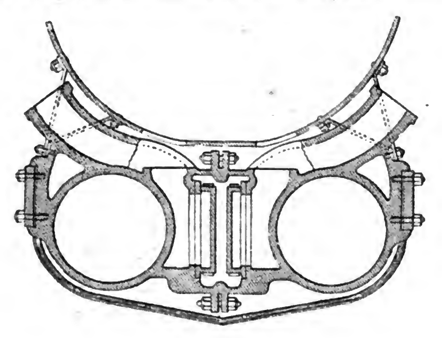


Fig. 375.

La *lumière d'échappement* L placée entre les deux précédentes a une section presque double de chacune de celles-ci; elle suit, sur une certaine longueur, la paroi du cylindre, puis vient s'assembler au moyen de brides et de boulons sur le tuyau en cuivre rouge ou en fonte qui conduit la vapeur à la culotte d'échappement.

Dans les anciennes machines la *boîte à vapeur* se composait


Fig. 376.

d'un cadre en fonte boulonné sur la table du cylindre et fermé par un couvercle assemblé de la même manière. Maintenant les

constructeurs préfèrent la faire venir de fonte avec le cylindre; cette disposition (fig. 376) qui ne présente pas de grandes difficultés de moulage supprime un joint, ce qui est toujours avantageux.

Quand les cylindres sont intérieurs et les boîtes à vapeur placées sur le côté de ces cylindres, elles sont généralement assez rapprochées pour pouvoir être réunies de manière à ne former qu'une seule capacité. Dans ce cas la paroi antérieure de la boîte commune est fermée par une plaque mobile unique qui permet de visiter et de réparer les tables des cylindres sans les démonter. Cette disposition, adoptée dans les machines à marchandises du chemin de fer de Paris à Strasbourg, est très-solide, mais elle présente l'inconvénient d'être fort peu commode pour les réparations; aussi a-t-on préféré, dans les machines mixtes et à marchandises du chemin de fer de Lyon, reporter les tiroirs obliquement sous les cylindres et fermer la partie inférieure de la boîte à vapeur par une grande plaque mobile.

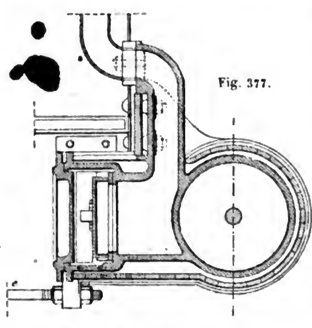
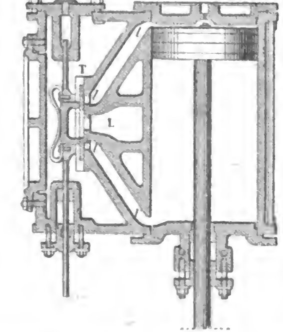


Fig. 377.



Quand les cylindres sont extérieurs, ils sont trop écartés pour qu'on puisse réunir leurs boîtes à vapeur; on ferme alors

celles-ci par de grands plateaux convenablement consolidés par des nervures. Généralement on rend mobile la paroi antérieure de ces boîtes afin de pouvoir introduire la tige du tiroir ainsi que cela a lieu dans les machines à voyageurs du chemin de Paris à Lyon. On réunit alors les deux boîtes à tiroirs par une ou deux entretoises en fer *e* (fig. 377), sorte de gros boulons portant quatre écrous serrés sur de fortes oreilles venues de fonte avec la boîte à tiroirs.

Les tiges des pistons et des tiroirs traversent les fonds des cylindres et des boîtes à vapeur et doivent glisser sans donner issue à la vapeur dans les ouvertures qui y sont ménagées. A cet effet l'on munit ces ouvertures de *stuffing-box* ou *boîtes à étoupes*, cavités cylindriques dans lesquelles on comprime des tresses de chanvre enduit de suif, au moyen de couvercles serrés par deux boulons. Les parties métalliques qui sont exposées à être frottées par les tiges doivent être en bronze afin d'éviter une usure trop rapide de ces tiges; à cet effet le fond est garni d'un *grain* G (fig. 378) et le couvercle tout entier

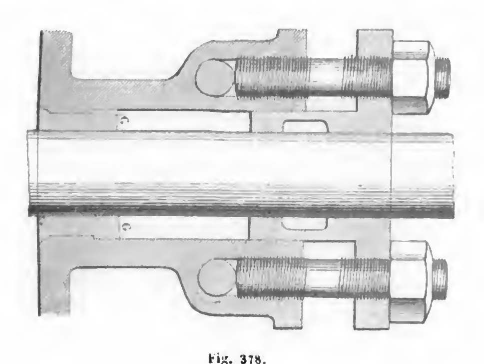
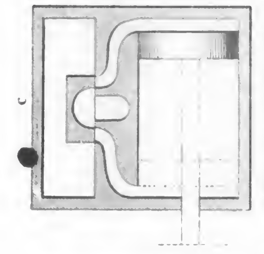
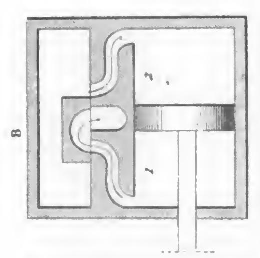


Fig. 378.

est fait avec cet alliage. Des godets servent à graisser l'appareil.

Les *tiroirs* sont généralement en fonte, quelquefois en bronze. La fonte de bonne qualité ne donnant pas lieu à plus de frottements que le bronze, et coûtant moins cher, elle obtient généralement la préférence. Nous avons déjà décrit sommairement la forme et les fonctions des tiroirs, nous allons entrer dans quelques développements à cet égard.





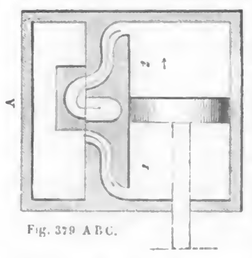


Fig. 379 A B C.

Les figures 379 ABC représentent les trois positions principales que peut prendre le tiroir. Dans la figure A la vapeur qui remplit la boîte à tiroir pénètre dans la capacité 1 du cylindre et force le piston à marcher dans le sens indiqué par la flèche, tandis que celle qui est contenue dans la capacité 2 s'échappe dans l'atmosphère. L'inverse a lieu pour la position du tiroir qui est représentée dans la figure B. Enfin, quand le tiroir occupe la position C, il intercepte toute communication du cylindre soit avec la boîte à vapeur, soit avec le tuyau d'échappement. La position C, que nous appellerons *position moyenne*, parce qu'elle partage en deux parties égales le chemin que doit parcourir le tiroir pour passer d'une des *positions extrêmes* A à l'autre B, convient au tiroir quand le piston est à l'une des extrémités de sa course. En effet, si nous nous reportons à la

figure C, nous verrons qu'il suffit de déplacer le tiroir d'une très-faible quantité dans un sens ou dans l'autre, pour que la vapeur soit admise sur l'une ou l'autre face du piston et s'échappe du côté où elle remplit déjà le cylindre. Il en résulte que, *toutes les fois que le piston est au bout de sa course, le tiroir doit être au milieu de la sienne.* Si nous poursuivons cet examen, nous voyons également que, *pour que le piston se mette à marcher dans un sens, quand il est près d'une des extrémités de sa course, il faut que le tiroir marche aussi dans le même sens.*

Des deux faits que nous venons de constater, nous déduisons la règle suivante :

Pendant que le piston passe d'une des extrémités de sa course à l'autre, le tiroir qui occupe sa position moyenne marche d'abord dans le même sens que le piston jusqu'à ce qu'il soit arrivé à sa position extrême, et revient à sa position moyenne au moment où le piston arrive au bout de sa course.

Nous verrons plus loin comment les tiroirs reçoivent le mouvement de la machine une fois qu'elle est en marche; nous verrons également les modifications qu'il convient d'apporter dans cette distribution normale pour tirer de la vapeur tout le parti possible.

Le tiroir est exposé à s'user, et il arrive parfois qu'il se lève pour donner passage à l'air comprimé par le piston quand le mécanisme de changement de marche est disposé pour la marche en arrière, tandis que la machine continue son mouvement en avant. C'est pourquoi il est logé dans un cadre en fer généralement venu de forge avec la tige (fig. 380) qui communique le mouvement alternatif au tiroir. Un ressort r, fixé sur le cadre, l'appuie continuellement sur son siége. Quand les tiroirs sont disposés latéralement aux cylindres ou sous ces

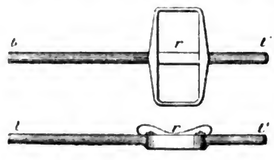


Fig. 380.

cylindres, la tige t porte un prolongement t' au delà du cadre ; ce prolongement pénètre dans la paroi antérieure de la boîte à tiroir, de sorte que la tige se trouve guidée par les deux bouts dans son mouvement rectiligne.

Les cylindres portent aux deux extrémités de leur génératrice inférieure deux robinets en bronze que le mécanicien peut ouvrir ou fermer à volonté, depuis sa plate-forme, au moyen d'une tringle à poignée, de bielles et d'un arbre à manivelles. Il est bon de disposer un robinet semblable sous les boîtes à vapeur. Ces robinets, dits *purgeurs*, sont destinés à évacuer l'eau de condensation qui se dépose dans les cylindres quand leurs parois sont froides et celle qui est souvent entraînée par la vapeur.

Le couvercle des cylindres et quelquefois la boîte à tiroir portent un autre robinet qui sert à graisser les surfaces frottantes. La disposition représentée figure 381 permet de graisser, la machine étant en marche. Le robinet r étant ouvert, celui r' fermé, on remplit d'huile le réservoir sphérique s, puis on ferme r, on ouvre r' et l'huile pénètre dans le cylindre.

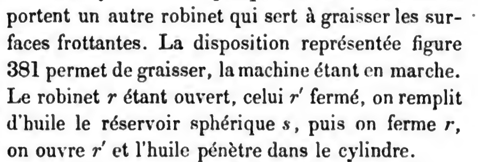


Fig. 381.

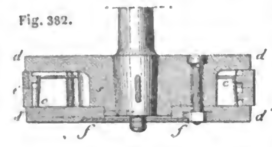
Dans l'origine, les cylindres étant toujours placés dans l'intérieur de la boîte à fumée, on les fixait alors au moyen de leurs brides sur la plaque tubulaire et sur la paroi antérieure de cette capacité. Cette disposition fatiguait la chaudière et ne présentait pas une solidité suffisante ; aussi fixe-t-on maintenant les cylindres directement sur les longerons des châssis au moyen de larges pattes en fonte. On ne doit rien négliger pour rendre les cylindres parfaitement fixes par rapport au mécanisme de la machine ; et, à cet effet, on doit les attacher surtout sur le châssis. Il est bon néanmoins de les relier à la boîte à fumée afin que toutes les parties qui composent la machine soient solidaires les unes des autres.

Quand les cylindres ne sont pas contenus dans la boîte à fumée, il est nécessaire de les préserver du refroidissement qui résulterait du contact immédiat de leurs parois avec l'air sans

cesse renouvelé par la marche de la machine. A cet effet, on les entoure d'une enveloppe en feutre et bois qu'on recouvre même quelquefois de tôle. Le couvercle est évidé de manière à présenter une cavité qu'on remplit de feutre et qu'on recouvre d'une plaque de tôle ou de laiton. On en fait autant pour le plateau qui ferme la boîte à tiroir. La figure 377 indique suffisamment les dispositions de cette enveloppe.

Théoriquement, la distance qui sépare le fond du couvercle d'un cylindre devrait être égale à la course du piston, augmentée de l'épaisseur du piston. Mais si l'on n'augmentait pas cette longueur, la moindre usure dans les organes de transformation de mouvement ou la plus petite quantité de matières étrangères solides ou liquides amèneraient inévitablement la rupture du cylindre ou de son fond. Pour éviter cette rupture, on donne au vide du cylindre un excédant de longueur de 20 à 25 millimètres, qu'on appelle *jeu du piston*.

Pistons. On distingue dans le piston trois parties principales : le *corps*, la *tige*, la *garniture*. Le corps du piston se compose de deux disques dits *plateaux*, d'un diamètre un peu moindre que le cylindre. L'un de ces disques *d d* (fig. 382) porte en son milieu un renflement *s s*, à quatre oreilles, alésé, conique à l'intérieur. L'extrémité de la tige du piston pénètre dans cette espèce de moyeu et s'y fixe au moyen d'une clavette qui les traverse tous les deux. Le second plateau *d' d'* présente une simple ouverture circulaire dans laquelle se loge l'extrémité du renflement dont nous venons de parler ; quatre boulons, dont les têtes et les écrous sont logés dans l'épaisseur de la fonte afin de ne pas faire saillie sur le corps du piston, réunissent les deux disques.


Fig. 382.

Le plateau *d' d'* ainsi que les écrous des boulons doivent se trouver du côté du couvercle du cylindre, afin qu'on puisse visiter la garniture du piston sans le sortir complétement.

Un *frein ff*, formé d'une plaque de tôle échancrée de manière à embrasser les écrous et à ne pas les laisser tourner, est également encastré dans le plateau mobile et tenu en place au moyen d'une forte *goupille* que traverse l'extrémité de la tige du piston ; enfin l'on goupille aussi les boulons afin qu'ils ne puissent ni tourner ni sortir de leurs logements.

Dans plusieurs machines construites tout récemment, la tige est terminée par deux cônes dont les grandes bases sont séparées par une embase cylindrique (fig. 383 et 384). Les deux

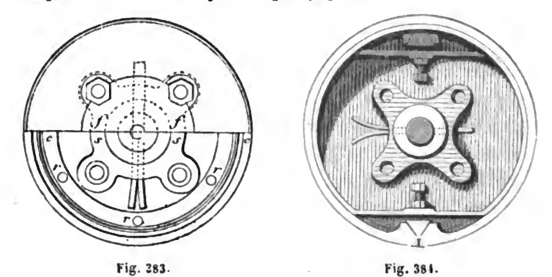


Fig. 383. Fig. 384.

plateaux sont alors presque exactement semblables et serrés sur cette embase par les quatre boulons, au lieu d'être clavetés sur la tige. Ce système a l'inconvénient grave de laisser prendre du jeu aux plateaux sur la tige. Il convient de le supprimer.

La meilleure disposition consiste à fixer à vis le plateau sur la tige. La vis est légèrement conique et le pas très-fort. On ajuste et on rode les taraudages l'un sur l'autre, puis on visse avec une barre de 4 mètres de largeur mue par quatre hommes, de manière à avoir un serrage très-puissant. On passe ensuite une broche en acier à travers le tout. Toutes les autres tiges prennent du jeu ; celles ainsi emmanchées ne bougent jamais.

La garniture se compose toujours de deux anneaux superposés, en fonte ou en bronze, appelés *segments*. Aujourd'hui la fonte est généralement préférée pour les pistons, par les mêmes raisons qui l'ont fait adopter pour les tiroirs.

Les segments sont toujours fendus en un ou plusieurs points de leur circonférence, afin de pouvoir être appliqués exactement contre les parois de ce cylindre; ils sont disposés *plein sur joint*, c'est-à-dire que les fentes de l'un correspondent au milieu des parties qui composent l'autre. Des *coins*, ou quelquefois de *petites plaques* qui épousent exactement la forme intérieure du segment, ferment toute issue à la vapeur, qui sans cela pénétrerait par les fentes d'un des segments dans l'intérieur du piston et ressortirait par celles de l'autre segment (fig. 385). Des ressorts logés dans le vide qui existe dans le corps du piston, pressent sur les coins ou plaques, et empêchent ainsi la garniture de s'écarter des parois du cylindre. On a employé d'abord à cet effet des ressorts à boudin, puis de petits ressorts plats qu'on bandait au moyen de vis ; maintenant on préfère généralement les segments à une seule fente, munis d'un coin (fig. 384) et d'un grand ressort circulaire qui est plus élastique et moins sujet à se briser que les petits ressorts ou les ressorts à boudin.

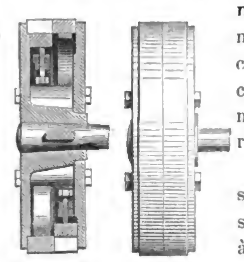


Fig 385.

Dans un autre piston construit sur les indications de M. Goussart, les segments sont forcés à s'ouvrir par une cuvette conique qui est pressée par de petits ressorts à boudins. En obéissant à l'action de ces ressorts, la cuvette appuie sur de petits tasseaux venus de fonte avec les segments et faisant partie du couvre-joint. Ce piston est bon, mais coûteux d'entretien et difficile à bien établir.

Dans les premières machines c'était une garniture en chanvre qui faisait l'office des ressorts; cette disposition est entièrement abandonnée, parce qu'au bout de fort peu de temps le chanvre perd toute son élasticité par suite de son contact avec la vapeur à une haute température, la graisse et les sédiments qui sont entraînés dans les cylindres.

Quand le piston est écarté du fond du cylindre, il tend à venir s'appliquer sur la partie inférieure de ce cylindre. Cet effet ne peut avoir lieu que si la tige fléchit, ce qui produit des frottements nuisibles et use inégalement le cylindre. Afin d'éviter cette flexion, on soutient quelquefois le corps du piston et sa tige au moyen de deux petits ressorts qui s'appuient à leurs deux extrémités sur le corps du piston, et qu'on règle au moyen de vis taraudées dans leur épaisseur et butant sur les segments.

La tige du piston est en acier tourné et poli. Elle est parfaitement cylindrique, sauf à l'extrémité qui pénètre dans le corps et à celle qui reçoit la tête du piston.

Nous avons déjà décrit les deux formes les plus usitées de l'emmanchement dans le corps du piston ; l'autre bout de la tige est aminci, de manière à former un cône très-allongé.

Têtes de piston et glissières. La bielle reçoit de la part du piston des pressions qui, vu l'obliquité que présente cette

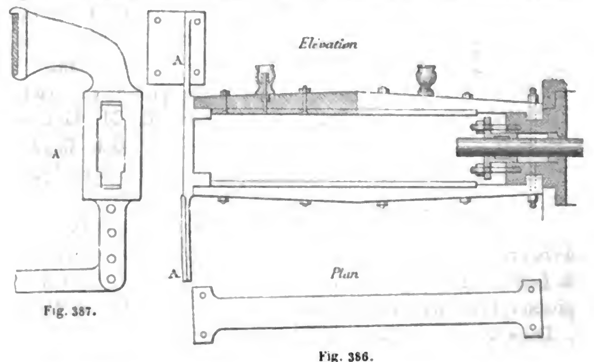


Fig. 387.

Fig. 386.

bielle dans presque toutes ses positions, tendent à fausser la tige du piston.

Il en résulte la nécessité de guider l'extrémité de cette tige dans son mouvement rectiligne.

A cet effet, l'on dispose en dessus et en dessous de la tige deux règles plates appelées *glissières* (fig. 386).

Les glissières sont en acier ou en fer recouvert d'une mise d'acier fixée au moyen de boulons à têtes noyées.

La face inférieure de la glissière supérieure et la face supérieure de la glissière inférieure sont parfaitement planes; leur axe se trouve de plus dans le même plan vertical que l'axe du cylindre et lui est parallèle. Les glissières sont fixées d'une part sur le corps du presse-étoupes du cylindre, d'autre part sur une *arcade* A, solidement attachée au bâti de la machine. Cette arcade est tantôt pleine (fig. 388), tantôt évidée (fig. 387), suivant que la bielle est à fourche ou droite.

A

Fig. 388.

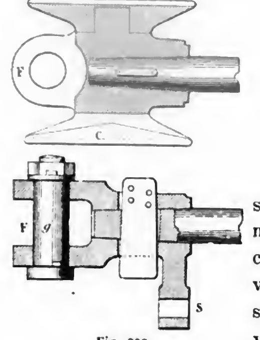
Les glissières étant solidement arrêtées par leurs deux extrémités, tendent surtout à fléchir vers le milieu de leur longueur; aussi leur épaisseur va-t-elle en croissant des extrémités vers le milieu. Leur largeur est nécessairement constante; elle doit être de dimensions telles que la pression soit répartie sur une grande surface.

La *tête*, *crosse* ou *coquille* du piston qui se meut entre les glissières est en fer; elle est percée d'un trou conique dans lequel pénètre le cône qui termine la tige du piston; l'assemblage est fait au moyen d'une forte clavette qu'on goupille afin qu'elle ne puisse se desserrer en marche.

On distingue dans la coquille le *corps*, les *coulisseaux* et *le* ou *les tourillons*. Il existe une infinité de dispositions de ces pièces; mais elles rentrent toutes à peu près dans les deux types suivants :

Quand la bielle est droite, le corps de la coquille présente la forme d'une fourche F (fig. 389), entre les deux branches de laquelle vient se placer une des têtes de la bielle. Un boulon ou goujon *g* force la bielle à suivre le mouvement du piston, tout en lui permettant d'osciller dans un plan vertical. Les coulis-

seaux CC sont fixés au moyen de vis sur la crosse, ou bien ils



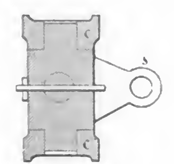


Fig. 389.

sont entraînés dans son mouvement par deux petites saillies cylindriques de cette crosse qui viennent se loger dans le coulisseau. Dans ce dernier cas ils peuvent obéir aux petites irrégularités que présentent quelquefois les glissières. Les coulisseaux sont en fonte, bronze ou acier. La fonte acquiert un fort beau poli et présente beaucoup de durée quand on la graisse soigneusement dans le début; le bronze a le défaut de s'user trop rapidement, et l'acier celui de rayer fréquemment dans les glissières. Il convient de remplir la tige du piston dans son assemblage avec la crosse, afin que le passage de la clavette ne s'affaiblisse pas. Pour cela on fend en deux le cylindre en bronze qui garnit le presse-étoupe, afin de laisser passer la tige.

Souvent le boulon qui fixe la bielle à la crosse de piston n'est pas au centre des coulisseaux; cette disposition use rapidement et irrégulièrement les parties frottantes et force la tige de piston : il convient de l'éviter.

Dans la figure 389 qui représente la crosse des machines à voyageurs du chemin de fer de Lyon, la patte S sert à mettre en mouvement le plongeur de la pompe.

Quand la bielle est à fourche, le corps de la coquille est plein et porte généralement deux tourillons *t t* (fig. 390) latéraux qui reçoivent les deux bras de la bielle. D'autres fois il est traversé par un goujon unique qui tantôt peut tourner dans

une bague en bronze rapportée à cet effet dans son intérieur,

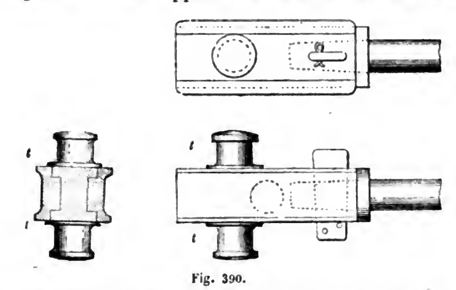


Fig. 390.

tantôt est maintenu fixe au moyen d'une goupille. La disposition des coulisseaux est la même que celle qui vient d'être indiquée.

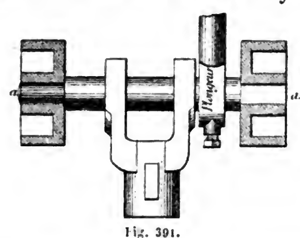


Fig. 391.

Dans les machines de Sharp et Roberts, il y a quatre glissières par cylindre, fixées latéralement au bâti de la machine. La crosse (fig. 391) est à fourche; elle est traversée par un petit arbre *a a* qui sert de point d'attache à la bielle et porte à chacune de ses extrémités un coulisseau. Cette disposition, quoique bonne, est généralement abandonnée, parce qu'elle exige quatre glissières par cylindre, ce qui est presque toujours gênant.

Bielles. — Les bielles transmettent le mouvement du piston à l'essieu à manivelles. Elles se composent de trois parties: les deux têtes et le corps de la bielle. L'une des têtes est reliée, avons-nous dit, avec la tige du piston, l'autre avec l'essieu; la première s'appelle la *petite tête*, la seconde la *grosse tête* de la bielle. La bielle est *à fourche* (fig. 392) ou *droite* (fig. 393). Quand elle est droite, elle pénètre dans la tête du piston; quand elle est à fourche, elle embrasse la coquille à droite et à gauche

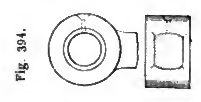
des glissières. Cette derrière disposition a été fort longtemps en faveur; elle est cependant coûteuse d'exécution et, si elle n'est pas parfaitement ajustée, elle donne lieu à des tractions obliques qui en occasionnent quelquefois la rupture.

La section des bielles est circulaire ou rectangulaire. La forme circulaire est plus avantageuse que la forme rectangulaire sous le rapport de la résistance à la compression; cependant elle n'est plus employée, parce qu'elle est difficile à raccorder avec celle de la grosse tête de bielle, qui présente la forme d'un rectangle dont le côté vertical est beaucoup plus grand que le côté horizontal, et parce que, si l'un des tourillons vient à *gripper*, l'effet considérable qui en résulte tend à opérer la

Fig. 392.

Fig. 393.

rupture dans le sens du plan vertical du mouvement. La forme des têtes varie à l'infini. La fig. 394 représente une petite tête de bielle fort simple; elle se compose d'un renflement cylindrique percé d'un œil garni d'un anneau en bronze qu'on peut remplacer quand il est ovalisé par l'usure. Cette disposition est peu coûteuse, et quand elle est bien exécutée, elle est fort bonne et dure très-longtemps sans avoir besoin d'être réparée à cause de la faible amplitude du mouvement qui a lieu en ce point. La disposition représentée dans la fig. 395 est fort usitée dans les bielles à fourche; on *rattrape* l'usure au moyen de clavettes qui permettent de resserrer les coussinets quand ils n'embrassent plus exactement les tourillons. Mais cette disposition est essentiellement vicieuse, elle fait infailliblement casser les tiges de piston, parce que les coussinets s'usent inégalement et que les mécaniciens serrent plus un côté que l'autre, ce qui tord la bielle et la tige de piston. Toutes les machines ainsi montées brisent leurs bielles ou leurs tiges de piston au bout d'un certain temps de service.


Fig. 394.

La tête de bielle (fig. 396) est dite à *chappe mobile*. Elle

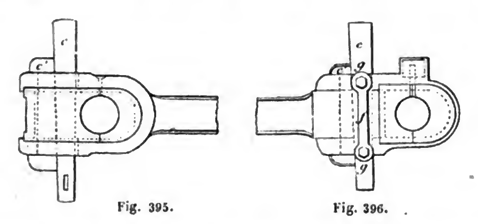


Fig. 395. Fig. 396.

présente l'avantage d'occuper peu d'espace en longueur du côté opposé au corps de la bielle; aussi l'emploie-t-on quand celle-ci est déjà un peu courte par suite d'un trop grand rapprochement des roues. Une *clavette c* et une *contre-clavette c'* permettent de donner du serrage aux coussinets.

Enfin la figure 397 représente une petite tête de bielle dans laquelle les clavettes sont remplacées par un coin qu'on rappelle au moyen d'une vis qui le traverse dans toute sa longueur.

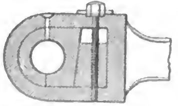


Fig 397.

La grosse tête de la bielle présente les mêmes dispositions que la petite tête. Quand les cylindres sont extérieurs, la disposition représentée dans la fig. 398 est celle qui convient le mieux. La tête est venue tout entière de forge avec la bielle ; elle est munie de deux coussinets en bronze qu'on serre au moyen d'une clavette ou d'un coin rappelé par une vis.

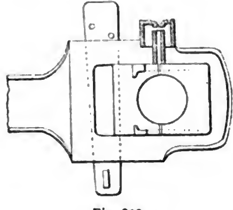


Fig. 398.

Pour les machines à cylindres intérieurs on ne peut faire usage de la bielle à tête fermée, parce que le manneton se trouve logé entre les deux roues de l'essieu. Tantôt on fait alors usage de la bielle à tête ouverte, tantôt de la bielle de Sharp (fig. 399), dans laquelle la chappe *c c* rapportée est rendue solidaire du corps de la bielle au moyen de deux petites cales *g g* en *queue d'aronde* et d'un boulon *b b* qui serre le tout. Cette disposition est bonne, car il est important que la chappe ne puisse pas se détacher quand les clavettes viennent à se desserrer. Enfin, quelquefois la chappe est rem-

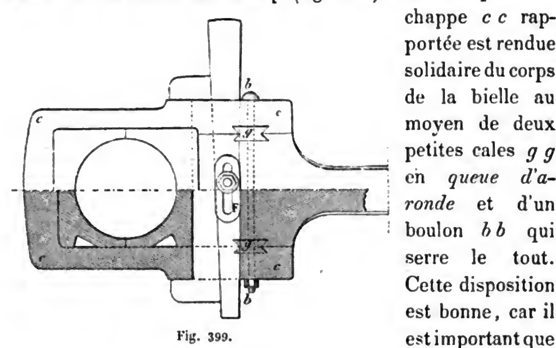


Fig. 399.

placée par un étrier en fer rond (fig. 400); le serrage se donne au moyen de doubles écrous.

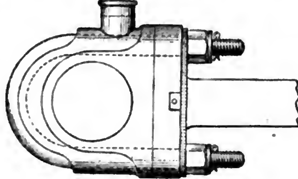


Fig. 400.

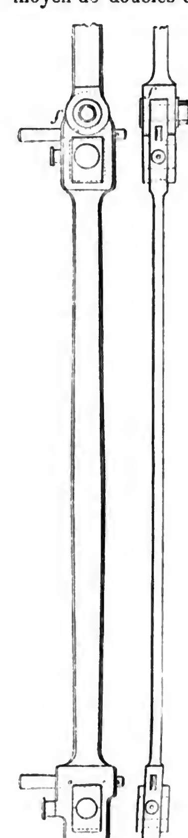


Fig. 401.

La figure 401 représente la forme la plus usitée des bielles d'accouplement, qui sont toujours extérieures. Quand les six roues sont couplées ensemble, on réunit les deux bielles au moyen d'un goujon qui traverse la fourchette *f* de l'une et la tête simple de l'autre sans l'intermédiaire de coussinets. Cette disposition est très-convenable, car il n'existe en ce point qu'un très-faible mouvement, dû aux oscillations verticales des boîtes à graisse dans les plaques de garde.

Les deux tourillons que relie une bielle doivent conserver constamment une distance invariable; c'est pourquoi l'on doit toujours disposer les têtes de bielles de manière que le serrage de l'une tende à augmenter la distance des deux centres, tandis que celui de l'autre tende à la diminuer.

Enfin, il est de la plus haute importance que les clavettes ne puissent se desserrer. A cet effet, on les arrête au moyen de goupilles qu'on chasse dans des trous percés en quinconce, ou bien on fait dans la tranche

de la contre-clavette des encoches demi-cylindriques, écartées de 0^{m},01, dans la clavette des entailles analogues espacées de 0^{m},011, ce qui forme une espèce de *vernier*. Quand on donne du serrage à la clavette, on peut toujours amener deux encoches exactement en face l'une de l'autre et y passer une goupille.

D'autres fois on munit la tête de bielle de *vis de pression* qui viennent s'appuyer sur la clavette. Dans ce cas, il devient nécessaire d'empêcher également tout mouvement dans les vis, ce que l'on fait en emprisonnant leurs têtes dans un frein, maintenu lui-même par deux goupilles.

Enfin l'on emploie très-fréquemment un frein qui consiste en une petite platine percée d'une fente à travers laquelle passe un boulon. En serrant le boulon, on fait appuyer fortement la platine sur la clavette, et l'on empêche celle-ci de glisser [1].

Manivelle. — Quand les cylindres sont extérieurs, le moyeu des roues motrices porte un renflement percé d'un trou dont l'axe se trouve à une distance de l'axe de l'essieu moteur égale à la demi-course du piston (fig. 402). Dans ce trou vient se

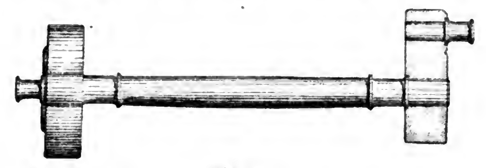
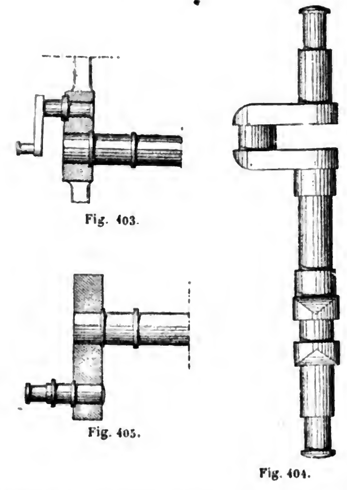


Fig. 402.

loger le *bouton de manivelle* en fer trempé. Ce bouton entre très-juste dans la cavité qui le reçoit, et il est rivé sur le moyeu de manière à ne pouvoir s'en détacher. Dans les machines Crampton, il est venu de forge avec une *contre-manivelle* qui

1. Les mêmes dispositions servent également dans toutes les pièces du mécanisme qui ne doivent pouvoir se desserrer. Pour les écrous on emploie des contre-écrous, des goupilles ou un frein. Quelquefois aussi on fait appuyer un simple ressort sur l'un des pans de l'écrou.

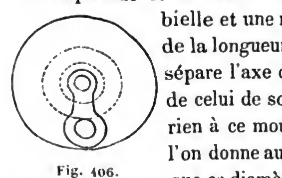
reçoit les excentriques (fig. 403). Quand les cylindres sont intérieurs, les manivelles ne sont autre chose que deux coudes de cet essieu (fig. 404).


Fig. 403.
Fig. 405.
Fig. 404.

Dans les machines à quatre roues couplées du chemin de fer d'Orléans on a rapporté à l'extérieur des fusées des manivelles en fer forgé. Cette disposition était nécessaire à cause de l'emploi du châssis extérieur. Quand le bâti est intérieur, les moyeux des roues servent toujours de manivelles d'accouplement; les boutons sont alors formés quelquefois de deux et même de trois tourillons successifs (fig. 405).

Distribution. — Nous avons indiqué précédemment quelle devait être la marche des tiroirs dans une machine locomotive; nous allons voir maintenant quelles sont les dispositions adoptées pour obtenir ce mouvement.

L'amplitude et la nature du mouvement produit par une bielle et une manivelle dépendent uniquement de la longueur de la bielle et de la distance qui sépare l'axe de l'essieu qui porte la manivelle de celui de son bouton. On ne changera donc rien à ce mouvement, quelque diamètre que l'on donne au bouton de manivelle. Concevons que ce diamètre aille continuellement en augmentant (fig. 406) jusqu'à ce que le bouton de manivelle en-


Fig. 406.

toure complétement l'essieu, et nous aurons l'appareil connu sous le nom d'*excentrique*.

Un excentrique consiste en un disque circulaire en métal percé d'une ouverture également circulaire dans laquelle vient se fixer l'essieu moteur. Le centre de l'ouverture est placé à une distance de celui du disque égale à la moitié de la course rectiligne qu'on veut obtenir. Cette longueur s'appelle *excentricité*. Ce disque est entouré d'un *anneau* (*a*) (fig. 407) qui re-

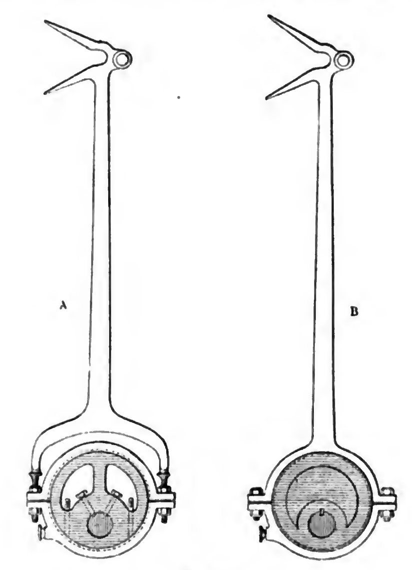


Fig. 407.

présente la tête d'une longue bielle *b*; ce sont le *collier* et la *barre d'excentrique*. Si maintenant nous supposons cette barre articulée par son extrémité sur la tige du tiroir, si, de plus, nous imprimons à l'essieu un mouvement de rotation autour de son axe, le tiroir prendra un mouvement de va-et-vient rectiligne

analogue à celui du piston. *Si la longueur de la barre d'excentrique, mesurée du centre du disque à l'axe de l'articulation de la tige du tiroir, est au moins égale à dix fois l'excentricité, on peut admettre sans erreur sensible que le mouvement du tiroir est le même que celui de la projection du centre de l'excentrique sur la ligne droite qui réunit le centre de l'excentrique à celui de l'articulation de la tige*, pourvu que cette tige soit dans le prolongement de cette droite. C'est en admettant l'exactitude de ce fait que nous allons raisonner dans toutes les considérations qui vont suivre.

On appelle grand *rayon de l'excentrique* la ligne qui part du centre de l'essieu et va rejoindre la circonférence en passant par son centre.

Soit *c* (fig. 408) le centre de l'essieu, *cb* l'excentricité qui, prolongée, viendrait se confondre avec l'axe de la tige du

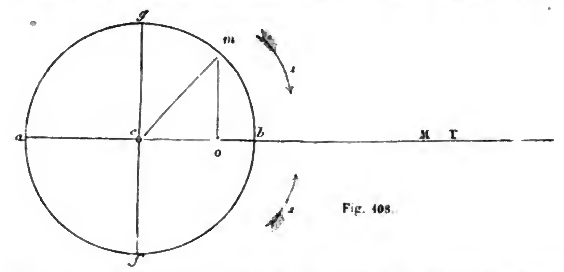


Fig. 408.

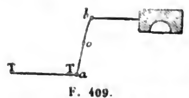
tiroir situé à l'avant du côté de *T*. Quand le grand rayon occupera la position *b*, le tiroir sera à l'extrémité antérieure de sa course; quand il sera en *ca*, il sera à l'autre extrémité de cette course; enfin il occupera sa position moyenne quand le grand rayon sera en *cf* ou *cg* perpendiculaires à *ab*. Toutes les positions intermédiaires *o* du tiroir s'obtiendront aisément en abaissant de l'extrémité du rayon correspondant *cm* une perpendiculaire sur *ab*.

La machine avancera quand l'essieu tournera dans le sens

de la flèche 1 ; elle reculera quand le mouvement de cet essieu se fera comme l'indique la flèche 2. Supposons maintenant le piston arrivé à bout de course du côté de l'avant de la machine, la manivelle sera à son point mort en cM ; mais le tiroir occupera sa position moyenne, le grand rayon sera donc sur fg. Il devra commencer par reculer comme le fait le piston ; donc, si l'on marche en avant (flèche 1), le grand rayon sera en cf ; si l'on marche en arrière, il sera en cg. On en conclut que *le grand rayon de l'excentrique doit toujours précéder de 90° la manivelle, quel que soit le sens de la marche*[1]. En raisonnant de la même manière pour toutes les positions de la manivelle, on voit que pour chacune d'entre elles le centre de l'excentrique doit se trouver à l'une ou l'autre des extrémités du diamètre perpendiculaire à sa direction, suivant que le mécanisme est disposé pour la marche en avant ou la marche en arrière.

Afin de pouvoir obtenir à volonté l'un ou l'autre de ces mouvements, l'on a d'abord imaginé de ne pas fixer l'excentrique invariablement sur l'essieu, mais bien de le faire entraîner par un manchon d'embrayage à deux dents diamétralement opposées. La machine étant en marche, si l'on débrayait à un instant donné le manchon, l'essieu continuait à tourner, mais l'excentrique restait fixe ; si l'on embrayait de nouveau avant que l'essieu eût fait une demi-révolution, l'excentrique se trouvait dan une position diamétralement opposée à celle qu'il occupait et était de nouveau entraîné dans le mouvement de rotation de l'essieu. Cet appareil, quoique fort simple, fonctionnait mal, parce qu'il arrivait fréquemment que l'essieu faisait plusieurs tours avant de rembrayer ; aussi est-il complé-

1. Cette règle n'est pas générale ; elle ne s'applique qu'au cas où la transmission du mouvement se fait directement à la tige du tiroir. Si au contraire (fig. 409 la barre d'excentrique TT s'articulait en *a* sur un levier dont *o* serait le point fixe, tandis que la tige du tiroir serait conduite par la branche *ob* de ce levier, ce serait au contraire la manivelle qui précéderait le grand rayon de l'excentrique.



F. 409.

tement abandonné. On a été conduit dès lors à remplacer l'articulation ordinaire sur la tige du tiroir par un embrayage au moyen de fourches terminant les barres d'excentriques.

La figure 410 représente un mécanisme de ce genre fort simple. La tige du tiroir *t t* est mise en mouvement par la

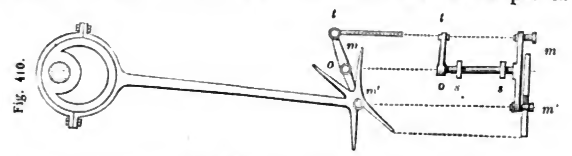


Fig. 410.

manivelle *t o* fixée sur l'arbre *o o* qui est porté par deux petits supports ou paliers *s s* fixés sur le bâti de la machine. L'autre extrémité de l'arbre est munie d'une double manivelle *m m'* portant les deux boutons *m* et *m'*. La barre d'excentrique est terminée par une double fourchette qui embrasse l'un ou l'autre des deux boutons *m* ou *m'*. Si l'on se reporte à la *note de la page* 306, on comprendra aisément que l'on obtienne le changement de marche désiré en abaissant ou relevant la barre d'excentrique.

L'essieu moteur reste toujours à une distance constante de la surface du rail, tandis que le bâti, et avec lui les tiroirs, oscille verticalement. Ce mouvement, qui fait varier à chaque instant la position du tiroir, par rapport à l'axe de l'essieu moteur, amène inévitablement des perturbations dans la marche du tiroir. Ces perturbations sont peu sensibles quand la barre d'excentrique est horizontale ; mais elles acquièrent une influence d'autant plus grande que cette barre s'écarte davantage de la position horizontale. Dans l'appareil qui nous occupe on est obligé de prendre cette horizontale pour position moyenne de la barre d'excentrique entre les deux mannetons, afin que l'influence des oscillations verticales de la machine ne se fasse pas plus sentir sur la marche en avant que sur la marche en arrière ; il en résulte que ni l'une ni l'autre ne se trouvent dans des conditions satisfaisantes. De plus, ce méca-

nisme ne se prête que très-imparfaitement aux modifications de la distribution qu'on a reconnues nécessaires ; aussi est-il complétement abandonné.

Aujourd'hui on emploie pour chaque tiroir deux excentriques qui commandent la distribution, l'un quand la machine marche en avant (*excentrique de la marche en avant*), l'autre quand la machine recule (*excentrique de la marche en arrière*).

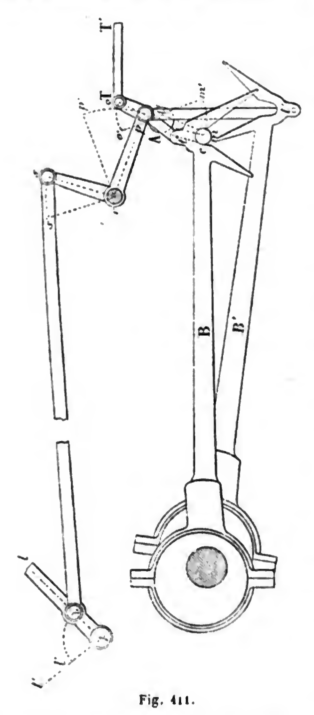


Fig. 411.

Il existe une infinité de dispositions à deux excentriques ; nous allons décrire les deux plus simples parmi ces mécanismes.

Dans la figure 411 T T' représentent la tige du tiroir. Elle est articulée sur la manivelle A T qui elle-même est fixée sur le petit arbre A dont les supports font partie du bâti de la machine. La manivelle A m, montée à l'extrémité de ce même arbre A, porte un double manneton $m m'$ qui fait saillie des deux côtés de la manivelle.

Les barres B et B' des deux excentriques sont terminées par deux fourches ou *pieds de biche* disposés de manière à pouvoir embrasser, l'une le manneton m, l'autre le manneton m' qui fait saillie de l'autre côté de la manivelle.

Quand l'une des fourches est *embrayée* ou *enclanchée*, c'est-à-dire quand le fond de l'entaille semi-circulaire qui existe à la rencontre des deux bras de la fourche repose sur le manneton, l'autre fourche est parfaitement libre; elle exécute le mouvement que lui imprime l'excentrique qui la commande sans venir rencontrer le manneton auquel elle correspond.

Les excentriques étant *calés*, c'est-à-dire fixés sur l'essieu moteur, de manière à faire prendre au tiroir le mouvement convenable, l'un pour la marche en avant, l'autre pour la marche en arrière, on voit par la simple inspection de la figure 411, qu'il suffit d'abaisser ou de relever simultanément les deux barres B et B' pour opérer le changement de marche.

Il faut que le mécanicien puisse manœuvrer depuis sa plateforme l'appareil que nous venons de décrire. A cet effet, les deux fourches sont suspendues à l'extrémité de la manivelle *rp* au moyen de deux petites bielles *pt*, *pt'*. L'arbre *r*, appelé *arbre de relevage*, porte, outre la manivelle *rp*, une seconde manivelle *rs;* il est monté sur deux supports fixés sur le bâti de la machine. Une grande *tringle* ou *bielle de changement de marche sv* est articulée d'une part en *s* sur la manivelle *rs*, d'autre part en *v* sur le levier *lk*, dit *levier de changement de marche*. Ce levier, dont l'axe de rotation *k* est fixé sur le bâti de la machine ou sur la chaudière, est à la portée du mécanicien, qui peut lui faire prendre à volonté la position *lk* ou *l'k*. Dans la figure 411, toutes les pièces tracées en lignes pleines sont disposées de manière que la distribution se fasse pour la marche en avant; les sommets des articulations sont marqués de lettres sans indice. Le tracé en lignes ponctuées représente la disposition que prendrait le mécanisme si l'on changeait la marche, chaque lettre portant le signe ' indique la nouvelle position que cette manœuvre ferait prendre à l'articulation désignée par la même lettre sans indice.

Il y a dans chaque machine deux tiroirs TT', par conséquent deux arbres A, quatre excentriques, et quatre petites bielles pendantes; mais il n'y a qu'un levier de changement de marche *lk*,

une bielle *vs*, et un arbre de relevage *r*. Seulement ce dernier porte deux manivelles *rp* parfaitement semblables qui correspondent l'une au cylindre de droite, l'autre à celui de gauche.

Le mécanisme que nous venons de décrire est un des plus simples qui aient été employés dans les anciennes machines; mais il ne peut être employé que quand les deux excentriques d'un même tiroir sont juxtaposés ou du moins très-rapprochés.

Il existe un grand nombre d'autres dispositions à deux fourches; mais comme elles sont aujourd'hui complétement abandonnées, nous renverrons à l'intéressante notice de M. Félix Mathias sur la machine *la Rapide* de Sharp et Roberts.

On trouvera également dans cet ouvrage la description d'une distribution de Hawthorn, dans laquelle ce constructeur avait supprimé complétement les excentriques et emprunté aux bielles le mouvement du tiroir.

Depuis plusieurs années on emploie presque exclusivement le mécanisme connu sous le nom de *coulisse de changement de marche de Stephenson*, et représenté dans l'une de ses formes les plus simples et les plus récentes (fig. 412).

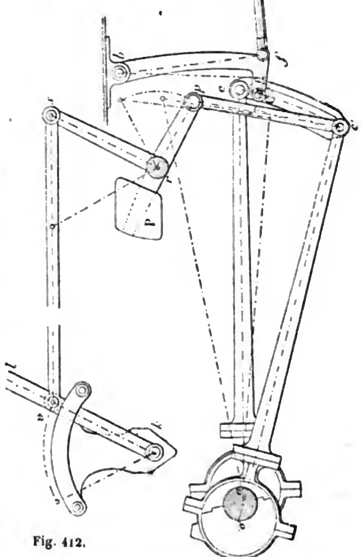


Fig. 412.

Les extrémités des deux barres d'excentrique viennent s'ar-

ticuler en *c* et *c'* sur une *coulisse* en fer évidée. L'entaille de cette coulisse présente deux parois parallèles en arc de cercle entre lesquelles peut glisser un coulisseau *c* en acier trempé. Une fourche *f* venue de forge au bout du levier *bft*, est réunie au coulisseau par le moyen d'un goujon *g*; le levier suspendu en *b* à un point fixe pris sous la chaudière, suit le coulisseau dans le mouvement que lui imprime la coulisse, et entraîne à son tour la tige *tt* du tiroir par l'intermédiaire de la petite bielle *ft* articulée en *t* et en *f*.

Le levier de changement de marche *lk*, agissant par l'intermédiaire de la tringle *vs* et de la manivelle *rs* sur l'arbre de relevage *r*, permet de faire prendre à cet arbre une infinité de positions dont les deux extrêmes sont indiquées, l'une par le tracé en lignes pleines, l'autre par les ponctués de la figure. A chacune de ces positions du levier correspondra une position de la coulisse par rapport au coulisseau ; à cet effet, l'arbre *r* porte deux manivelles projetées en *rp*, qui commandent chacune la coulisse d'un des cylindres par l'intermédiaire de quatre petites *bielles de relevage pc'*. Un *contre-poids* P, fixé au bout du levier P*r* monté sur l'arbre *r*, sert à équilibrer les coulisses et les barres d'excentrique, et facilite ainsi la manœuvre de cet appareil, laquelle serait sans cela très-pénible.

La position qu'occupe à chaque instant le point *c* s'obtient aisément de la manière suivante : Du centre *o'* de l'excentrique comme centre, et avec la longueur *o'c'* de la barre comme rayon, on décrit un arc de cercle. Un autre arc décrit de *p* comme centre avec le rayon *pc'*, coupera le premier au point *c'* cherché. Connaissant *c'*, on obtiendra *c* à l'intersection de deux autres arcs tracés, l'un de *c'* comme centre avec le rayon *cc'*, l'autre de *o* avec le rayon *oc*. Les points *c* et *c'* suffisent pour déterminer complétement la coulisse. On en déduira aisément la position du tiroir par des constructions analogues.

Quand le point *c* marche d'avant en arrière, le point *c'* marche d'arrière en avant ; ces deux mouvements ont la même

amplitude. Il en résulte que le point milieu c'' (fig. 413) de la coulisse reste en repos. Chacun des points intermédiaires entre les points c' et c'' a un mouvement semblable à celui de c', mais d'une amplitude d'autant plus faible qu'il est plus rapproché de c''. Nous verrons plus loin quel parti l'on tire de cette propriété de la coulisse ; pour le moment, il nous suffira de constater que quand la coulisse est disposée comme l'indique la figure 412, c'est l'excentrique *o* seul qui commande le tiroir, et que, si l'on manœuvre le levier de changement de marche de manière à amener toutes les pièces du mécanisme dans les positions indiquées en traits ponctués, le tiroir sera mis en mouvement par l'excentrique o'.

Fig. 413.

De l'avance. — Nous avons admis jusqu'ici que le tiroir se trouvait au milieu de sa course quand le piston était à l'une des extrémités de la sienne. Cette disposition paraît, au premier abord, être la seule rationnelle; cependant on y a renoncé par les raisons que nous allons développer.

Le tiroir venant recouvrir exactement les deux lumières à l'instant où le piston atteint l'extrémité de sa course, il en résulte que, quand le piston commence à marcher en sens inverse de son premier mouvement, les orifices des lumières se découvrent d'une quantité d'abord très-faible. La vapeur qui doit venir presser sur le piston éprouve une résistance considérable à son passage dans cette ouverture de peu de largeur, et, ce qui est plus grave, celle qui doit s'échapper produit une *contre-pression* considérable contre le piston qui la refoule devant lui.

Fig. 414.

La figure 414 donne une idée assez nette de ce qui se passe dans ce cas. Soit aa'' la course du piston, ac, $a'c'$ les pressions que reçoit ce piston quand il occupe les positions a, a' etc., la figure $ac\,a''c''c'$ représente le travail que le piston reçoit de la vapeur motrice. Si nous reportons à gauche de la

figure les *contre-pressions* qui correspondent à chacune des positions du piston, nous aurons une courbe dont la première ordonnée *bd* sera égale à $a''c''$, et dont les suivantes iront rapidement en décroissant. Cette seconde aire représente le travail négatif de la contre-pression que la vapeur exerce sur le piston en s'échappant. La différence entre les deux aires est alors le travail transmis réellement au mécanisme moteur.

Ce qui frappe surtout dans cette figure, c'est la grande valeur de l'ordonnée *bd* et de ses voisines, qui représentent la contre-pression dans les premiers instants de la course du piston ; on remarque aussi que l'ordonnée *ac* qui représente la pression initiale de la vapeur dans le cylindre, va en augmentant jusqu'en un certain point c', puis diminue depuis ce point jusqu'au bout de la course. Cette diminution est sans inconvénient ; quant à l'augmentation de *ac* en $a'c'$, elle se traduit en une dépense inutile de vapeur. En effet, quand le piston est arrivé en a' le cylindre contient un volume $a'b'$ de vapeur à la pression $a'c'$, tandis que le travail qui a été produit est dû au même volume $a'b'$ à une pression moyenne entre *ac* et $a'c'$ et moindre que $a'c'$.

Si, au moment où le piston arrive à bout de course, les orifices des lumières se trouvaient brusquement découverts d'une quantité suffisante pour ne pas gêner sensiblement le mouvement de la vapeur, les phénomènes dont nous venons de parler n'auraient pas lieu ; mais il ne peut en être ainsi, parce que les excentriques circulaires ne peuvent agir par saccades.

Si l'on cale les excentriques AVEC AVANCE, c'est-à-dire *dans une position telle que le tiroir ait dépassé le milieu de sa course quand le piston arrive au bout de la sienne*, les lumières seront découvertes avant que le piston commence à rétrograder, et l'action de la vapeur aura lieu comme l'indique la figure 415.

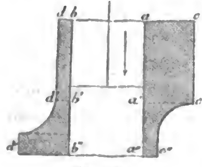


Fig. 415.

Au moment où le piston se met à marcher dans le sens indi-

qué par la flèche, la vapeur qui a pu s'introduire dans le cylindre par un orifice d'une certaine largeur a atteint une pression sensiblement égale à celle de la chaudière ; elle agit sur le piston et le pousse jusqu'en a', où le tiroir recouvre simultanément les deux lumières. Aussitôt ce point dépassé, la vapeur commence à s'échapper, mais elle continue à presser sur le piston en produisant sur lui un travail de *détente incomplète* jusqu'en $a'' c''$, où elle atteint une faible pression qui sera la contre-pression quand le piston rétrogradera. Cette contre-pression $b d$, égale à $a'' c''$, reste sensiblement constante jusqu'au point b' homologue de a', où la lumière se ferme du côté de l'échappement pour s'ouvrir du côté de l'admission. La vapeur viendra donc presser de b' en b'' sur le piston en sens inverse du mouvement, effet qui est représenté par le quadrilatère négatif $b' d''$.

Ces deux nouveaux modes d'action de la vapeur s'appellent *échappement anticipé* et *admission anticipée* ou *marche à contre-vapeur*. La quantité dont les lumières se trouvent découvertes quand le piston est à bout de course a reçu le nom d'*avance linéaire à l'introduction* et à l'*échappement ;* enfin l'angle dont il a fallu déplacer les grands rayons des excentriques par rapport à leur calage normal est l'*avance angulaire.*

L'avance linéaire est donc égale au sinus de l'avance angulaire. La marche à contre-vapeur produit un travail négatif qui diminue l'effort de traction que peut exercer la machine ; mais elle ne constitue pas une perte réelle, car la vapeur qui est introduite sous le piston est refoulée dans la chaudière par le piston et n'est par conséquent pas perdue. On restitue facilement à la machine la puissance qu'elle a perdue en augmentant soit la pression de la vapeur dans la chaudière, soit les dimensions des cylindres, et l'on a en tous cas supprimé l'énorme contre-pression qui agissait sur le piston avant l'adoption de l'avance. La quantité de vapeur dépensée est représentée par le quadrilatère $a c'$; elle est par conséquent moindre que le volume total engendré par le piston.

De plus le travail représenté en $a'c''$ a été obtenu sans dépense de vapeur aucune ; il constitue donc un profit net.

Recouvrement. — Nous venons de voir que la marche à contre-vapeur forçait à donner aux cylindres de plus grandes dimensions ou à augmenter la pression de la vapeur. Tout en conservant l'avance à l'échappement, il est possible de supprimer celle à l'admission, et voici comment :

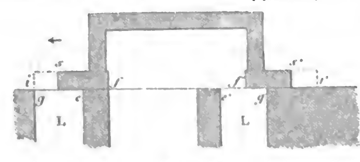


Fig. 416.

Soit $e'f'$ (fig. 416) l'avance à l'échappement d'un tiroir *normal*, c'est-à-dire d'un tiroir dont la longueur extérieure $s\,s'$ soit égale à l'écartement $g\,g'$ des parois extérieures des lumières d'introduction L et L, l'avance à l'introduction $i\,s$ de ce tiroir sera égale à $e'f'$.

Mais si nous prolongeons le tiroir de chaque côté d'une quantité $i\,s$ et $i'\,s'$ égale à $g\,s$ ou un peu moindre, la lumière d'échappement sera découverte de toute cette quantité avant que celle d'admission s'ouvre. Outre l'avantage de supprimer le travail à contre-vapeur, cette disposition en amène un autre qui est infiniment plus important. Le rebord $s\,f$ du tiroir étant plus large que la lumière $g\,e$, pendant que celui-ci parcourt l'espace $i\,s$ dans le sens indiqué par la flèche, la vapeur reste emprisonnée dans le cylindre. Le piston continuant à marcher pendant ce temps reçoit de la vapeur des pressions qui vont en décroissant en suivant sensiblement la loi de Mariotte[1]. Il en résulte un travail sur le piston sans consomma-

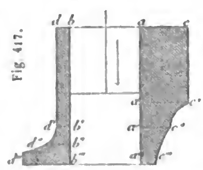
1. Suivant cette loi *les pressions d'une quantité donnée d'un gaz sont inverses des volumes de ce gaz*. Si donc, au moment où le rebord s du tiroir rencontre celui g de la lumière, le volume de vapeur contenu dans le cylindre est V sa pression étant p, la pression p' de ce gaz quand son volume sera V' se déduira de la proportion suivante :

$$V : V' :: p' : p$$

d'où

$$p' = \frac{V}{V'}\,p.$$

tion aucune de vapeur : c'est le travail *à détente*. Les saillies *s i* et *s' i'* s'appellent *recouvrement extérieur*.


Fig. 417.

La figure 417 indique comment agit la vapeur dans un cylindre pour lequel la distribution se fait avec avance et recouvrement extérieur un peu plus faible que l'avance linéaire.

Comme il y a un peu d'avance à l'introduction, la pression initiale *a c* dans le cylindre est à peu près celle qui existe dans la chaudière ; elle agit jusqu'à ce que le piston soit arrivé en *a'*. A ce moment, le rebord *s* du tiroir venant à rencontrer celui *g* de la lumière, l'admission de la vapeur est interceptée et la vapeur agit par détente jusqu'au point *a''*. Pendant que le piston passe de *a'* en *a''*, le tiroir a continué à marcher dans le sens de la flèche, et le point *f* est venu en *e ;* c'est à ce moment que commence l'échappement anticipé dont le travail sur le piston est représenté par le quadrilatère *a'' c'''*. Le poids de la vapeur qui a été représentée est égal au volume engendré par le piston de *a* en *a'* multiplié par la densité de cette vapeur à la pression *a' c'*. Sans l'emploi de l'avance et du recouvrement, cette vapeur n'aurait produit qu'un travail *a c'* ; avec ces modifications de la distribution, ce travail est représenté par le polygone *a c'''* ; on a donc tiré de cette vapeur un effet utile bien plus considérable que si l'on avait employé le calage et le tiroir normaux.

Voyons maintenant quel est l'effet produit par ces dispositions sur le travail négatif de la vapeur.

L'échappement ayant commencé avant que le piston soit arrivé à bout de course, la contre-pression *b d* sera faible ; elle se maintiendra à peu près constante jusqu'au moment où le point *f* sera venu en *e* (fig. 416). En ce même instant *f'* se trouvera en *e'*, et l'échappement sera intercepté. Le piston sera obligé de refouler la vapeur devant lui, de la comprimer, ce qui créera un travail analogue à la détente, mais inverse. La

compression cessera quand le rebord *s'* coïncidera avec le rebord *g'*, et à partir de cet instant il *y* aura marche à contre-vapeur.

Le rectangle $b\,c'$ représente le travail de l'échappement, $b\,c''$ celui de la compression et $b''\,c'''$ celui à contre-vapeur. Nous avons déjà vu que le travail à contre-vapeur n'était pas très-nuisible ; celui de la compression peut devenir utile s'il n'est pas trop prolongé.

Nous avons indiqué ce que c'était que le jeu du piston. Cet espace, ainsi que les lumières d'admission, se remplit de vapeur à chaque coup de piston, et cette vapeur n'agit sur le piston que par détente : on l'appelle donc avec raison *espace nuisible.*

La compression a pour effet, quand elle n'est pas trop prolongée, de remplir l'espace nuisible avec de la vapeur qui atteint, ou à peu de chose près, la tension de la chaudière. Elle évite donc une dépense inutile de vapeur ; mais quand elle dépasse une certaine limite, elle crée un travail résistant et force ainsi à augmenter les dimensions des cylindres.

Plus le recouvrement est grand et plus la période de détente acquerra d'importance. L'avance linéaire à l'échappement devant être au moins égale au recouvrement, il en résulte que, si l'on veut commencer à détendre en un point de la course du piston très-rapproché de sa position initiale, on aura nécessairement beaucoup d'avance à l'échappement, ou, ce qui revient au même, la vapeur commencera à s'échapper longtemps avant que le piston soit arrivé à bout de course.

La perte de travail qui résulterait de cet échappement anticipé peut être évitée si l'on donne au tiroir du *recouvrement intérieur* (*e f*, *e' f'*, fig. 418). En analysant, comme nous venons de le faire pour le recouvrement extérieur, ce qui

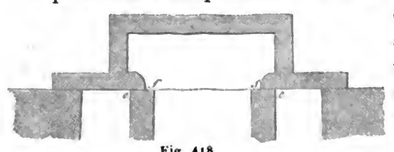


Fig. 418.

se passe quand on adopte cette dernière disposition, on verra que la durée de la compression se trouvera augmentée d'une quantité notable ; c'est pour cela qu'on évite de donner aux tiroirs un recouvrement intérieur considérable. En général, ce recouvrement n'est que juste suffisant pour que les lumières ne puissent jamais se trouver découvertes simultanément sous le tiroir. Ce n'est guère que pour des avances angulaires de plus de 30° qu'il dépasse $0^{m},001$.

Il est important de déterminer les relations qui existent entre l'avance angulaire et le recouvrement extérieur et intérieur.

A cet effet, du point *o* situé sur le prolongement de la tige du tiroir (T T) comme centre, et avec un rayon égal à la demi-course de ce tiroir, décrivons un cercle. Cette circonférence représentera le chemin parcouru par le centre d'un excentrique qui commanderait directement le tiroir. Celui-ci occupera sa position moyenne quand le centre de l'excentrique sera en *c* ou *c'* sur la perpendiculaire menée en *o* sur TT. L'avance linéaire de ce tiroir étant *o* A, le grand rayon de l'excentrique devra être en *o a* ou en *o a'* quand le piston sera à l'extrémité de sa course, puisque à cet instant le tiroir devra avoir dépassé le milieu de la sienne de la quantité *o* A (voir page 312 la définition de l'avance linéaire et pages 304 et 305 la relation qui existe entre le mouvement de l'excentrique et celui du tiroir). L'avance angulaire sera l'angle *c' o a* ou *c o a'* de la fig. 419. On obtiendra l'avance linéaire à l'introduction R A en retranchant de l'avance totale *o* A le recouvrement extérieur *o* R (ou *s i*, fig. 416). L'avance à l'échappement sera elle-même égale à *o* A diminué du recouvrement intérieur *o r* (*f e*, fig. 418).

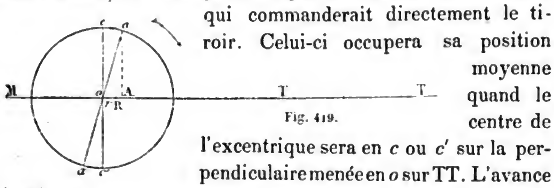


Fig. 419.

Le mouvement ayant lieu dans le sens indiqué par la flèche, la manivelle se trouvera en son point mort *oM* au moment où

le grand rayon de l'excentrique sera en *oa*. En effet, le piston et le tiroir doivent marcher d'abord dans le même sens; ils iront tous d'eux d'arrière en avant. *Quand donc le tiroir est commandé directement par l'excentrique, le grand rayon doit toujours précéder la manivelle de l'angle de calage normal augmenté de l'angle d'avance.*

Si le tiroir au lieu d'être mis directement en mouvement par l'excentrique, l'était par l'intermédiaire d'un arbre de distribution, il reculerait quand la barre d'excentrique avancerait, et *vice versa*.

Pour le calage normal on aurait par conséquent le grand rayon *oa'* quand la manivelle serait en *o*M, et l'angle d'avance serait *a'*, puisque au départ du piston le piston doit avoir dépassé sa position milieu. Ainsi, *quand le tiroir est commandé par l'intermédiaire d'un arbre de distribution, le grand rayon doit suivre la manivelle à une distance angulaire égale à l'angle de calage normal diminué de l'angle d'avance.*

Il est également fort intéressant de connaître, pour chaque position du piston, l'ouverture correspondante du tiroir soit à l'introduction, soit à l'échappement.

A cet effet, l'on divise la circonférence décrite par le bouton de la manivelle en un nombre pair de parties égales (16 par exemple), en partant de l'un des points morts (fig. 420). De chacune des divisions comme centre et avec une ouverture de compas égale à la longueur de la bielle, d'axe en axe des tourillons, on décrit un arc de cercle qui vient couper l'axe de la tige du piston, au point où doit se trouver le tourillon de la tête du piston.

On numérote chacune de ces divisions, en prenant pour zéro la position de laquelle on est parti soit pour le cercle, soit pour la droite; puis l'on fait la même opération pour le tiroir en mettant le signe *zéro* aux points où se trouvent l'excentrique et le tiroir, au moment où la manivelle part de son point mort. En d'autres termes, on affecte du même chiffre les positions de la manivelle, du piston, du centre de l'excentrique

et du tiroir qui se correspondent. Puis on porte en abscisses sur une ligne droite AB les seize positions du piston, en ordonnées pour chaque point, les distances que le tiroir se trouve avoir parcourues à partir de sa position extrême. Par tous les points ainsi obtenus, on trace une courbe qui est nécessairement fermée puisque, quand le piston revient à une position par laquelle il a déjà passé, le tiroir revient à la position qu'il avait occupée à ce premier passage. Si maintenant on trace une parallèle *ab* à AB, à une distance égale à la demi-course du tiroir, cette parallèle viendra couper la courbe en deux points dont les abscisses donneront les positions du piston pour lesquels le tiroir est au milieu de sa course.

Fig 420.

L'admission commence quand le tiroir a dépassé sa position moyenne d'une quantité égale au recouvrement extérieur, et

cesse quand le tiroir est revenu à la position où cette admission avait commencé.

On tracera donc des deux côtés de *ab* des parallèles *a'b'* et *a"b"*, à des distances de *ab*, égales au recouvrement extérieur, et l'on obtiendra ainsi deux intersections α, β, dont la première, α, indique la position du piston à laquelle commence l'admission, la seconde, β, celle où finit cette admission pour l'une des demi-courses du piston, et deux autres intersections γ et δ pour l'autre demi-course.

S'il y a du recouvrement intérieur, deux nouvelles parallèles à *ab* détermineront par leurs intersections avec la courbe les positions du piston où commencent les périodes d'échappement et de compression ; sinon c'est la ligne *ab* qui donne elle-même ces positions.

La courbe que nous venons de tracer représente le mouvement d'un point quelconque du tiroir; c'est pourquoi elle suffit à elle seule pour déterminer toutes les phases du travail de la vapeur. Nous avons indiqué sur les lignes ponctuées qui suivent cette courbe, la durée de chacune de ces périodes : admission, détente, échappement et compression. Les indications tracées à l'extérieur correspondent à la face droite, celles de l'intérieur à la face gauche du piston.

Détente variable. Le travail qu'une machine locomotive doit effectuer est éminemment variable. Le poids du convoi, le profil du chemin, l'état de l'atmosphère et la vitesse de marche sont autant d'éléments qui déterminent ce travail.

Les dimensions des cylindres ne peuvent pas être changées; si donc l'effort de traction varie et si les conditions dans lesquelles se fait la distribution restent les mêmes, il faudra faire varier la pression de la vapeur au moyen du régulateur.

Dans les machines sans condensation, comme le sont les locomotives, il est avantageux de marcher à la pression la plus forte possible; c'est ce dont on s'assure aisément en remarquant que le travail positif d'une *cylindrée* de vapeur est proportionnel à la pression de cette vapeur ; tandis que le travail

négatif de cette même cylindrée, qui n'est autre chose que le travail de la contre-pression pendant l'échappement, est sensiblement constant, quelle que soit la pression initiale de la vapeur.

En diminuant l'ouverture du régulateur, on diminue la pression de la vapeur dans les cylindres; on utilise donc cette vapeur moins bien que si l'on marchait avec une ouverture plus grande.

On pourra obtenir la même diminution de l'effort de traction en commençant à détendre plus tôt, et en prolongeant cette détente plus loin; on atteindra ainsi le double but de diminuer l'influence nuisible de la contre-pression et d'utiliser mieux la vapeur admise.

On a essayé depuis quelques années différents appareils destinés à faire varier à volonté la détente. Tous ces appareils peuvent être rangés en deux classes.

Dans la première, ceux où l'on varie la détente en variant la longueur de course des tiroirs.

Dans la seconde, les appareils où l'on produit un effet semblable en se servant d'un double tiroir.

Examinons d'abord comment, en augmentant ou diminuant la course des tiroirs, on peut varier la détente.

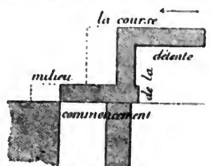


Fig. 421.

Soit *ab* (fig. 421 et 422) la course parcourue par le tiroir, *ac* la demi-course.

Le tiroir étant supposé se mouvoir de gauche à droite, l'admission commencera quand le rebord extérieur du tiroir arrivera sur le bord extérieur de la lumière; elle cessera, quand le tiroir marchant de droite à gauche sera venu reprendre cette même position.

Or, s'il n'y avait pas de recouvrement extérieur, cela aurait lieu quand le tiroir serait au milieu de sa course en *c*; avec un recouvrement extérieur *oc*, il suffira que le tiroir soit arrivé en *o* pour que l'admission commence ou cesse.

Décrivons un cercle sur *ab* comme diamètre; à chaque position *o* du tiroir correspondront deux positions *m* et *m'* du

centre de l'excentrique, l'une pour le commencement, l'autre pour la fin de l'admission. L'angle *mcm'* sera l'angle décrit par le centre de l'excentrique ou par la manivelle, pendant la durée de cette admission. Si maintenant nous réduisons la course du tiroir à une longueur *de*, et si sur cette longueur *de* partagée en deux parties égales par le centre *c* du premier cercle, nous en décrivons un second, nous verrons aisément que l'admission n'a plus lieu que pendant que la manivelle parcourt l'angle *ncn'*.

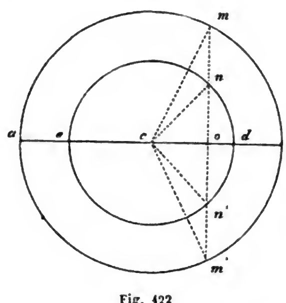
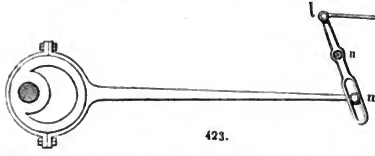


Fig. 422

Ainsi, *plus on réduira la course d'un tiroir donné, plus on restreindra la durée de l'admission*, ou en d'autres termes, *plus on le détendra.*

Deux dispositions ont été employées pour faire varier la course du tiroir pendant la marche : celle des machines belges appelées du nom de son inventeur, disposition de Cabry, et la coulisse de Stephenson que nous avons déjà décrite.

Dans les machines belges, le tiroir reçoit le mouvement de l'excentrique par l'intermédiaire d'un levier *lm* (fig. 423) fixé sur un arbre de distribution *n*. Le levier *lm* est percé d'une coulisse rectangulaire dans laquelle vient s'engager le manneton qui termine la barre d'excentrique de marche en avant. L'espace parcouru par ce manneton étant constant, l'angle qu'il fera décrire au levier *lm* sera d'autant plus



423.



grand que le point m sera plus rapproché de l'arbre de distribution n; la course du tiroir augmentera donc si l'on relève la barre d'excentrique et diminuera si l'on abaisse cette barre.

On a prétendu que, dans l'appareil Cabry, l'avance devenait nécessairement plus faible à mesure qu'on diminuait la course du tiroir; nous allons voir qu'il est au contraire possible de faire augmenter cette avance à mesure que l'on détend davantage.

Supposons (fig. 424) la manivelle oM horizontale; si le calage

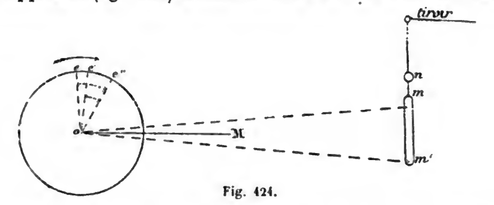


Fig. 424.

est normal, le grand rayon de l'excentrique doit être perpendiculaire à om, qui est la position de la barre d'excentrique pour laquelle la course est un maximum. Ce grand rayon doit en outre se trouver en oe en arrière de la manivelle, puisque le mouvement est transmis indirectement au tiroir. Si l'on donne une avance correspondante à un angle $\alpha = eoe''$, cet angle devra être compté à partir de oe et en avant de cette droite dans le sens du mouvement indiqué par la flèche.

Si maintenant nous abaissons la barre d'excentrique en om' de manière à diminuer la course du tiroir, la position du grand rayon d'excentrique qui conviendrait au calage normal, se trouverait en oe' perpendiculaire à om' et l'avance angulaire ne serait plus que de $e'oe''$. Dans ce cas, l'avance diminue donc à mesure qu'on augmente la détente.

Mais si le mécanisme se trouvait disposé comme dans la fig. 425, nous aurions le calage normal pour om en oe, l'avance angulaire pour cette position de la barre d'excentrique en eoe''; et si nous reportions cette barre d'excentrique en om' de ma-

nière à diminuer la course du tiroir, le nouveau calage normal

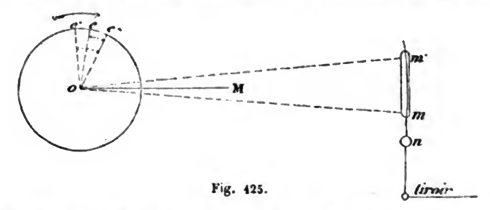


Fig. 425.

serait oe', et l'angle d'avance serait $e'oe''$ plus grand que eoe''.

C'est donc à tort qu'on a avancé que, dans les machines qui portent le mécanisme de détente variable de Cabry, l'avance diminue nécessairement quand la détente augmente.

Nous avons vu, page 312, que chacun des points de la coulisse de Stephenson intermédiaire entre les deux extrêmes a un mouvement d'une amplitude d'autant moins grande qu'il est plus rapproché du point milieu de cette coulisse, appelé *point mort*. Il en résulte qu'il suffira d'arrêter le levier de changement de marche dans une position plus ou moins rapprochée du point mort pour que le mouvement transmis au coulisseau, et par conséquent au tiroir, soit plus ou moins restreint. Nous avions supposé les excentriques calés tous deux pour la marche normale; il n'en est rien pour les machines qui portent la coulisse, on leur donne en général une avance de 30°. Les mouvements que l'on obtient ainsi sont plus compliqués; mais ils n'en suivent pas moins la loi que nous venons d'indiquer.

Soit OM la position de la manivelle à son point mort, oe la position correspondante du grand rayon de l'excentrique de marche en avant, oe' celle de la marche en arrière ; soit TT la direction de la tige du tiroir prolongée; soit enfin cc' la coulisse, ce et $c'e'$ les deux barres d'excentrique. Dans la position indiquée par la figure, c'est l'excentrique de marche en avant qui commande le tiroir; la marche normale correspondrait donc à un calage $o\varepsilon$ perpendiculaire à oc. Si maintenant nous relevons la coulisse en $c''c'''$ le mouvement du tiroir continuera à

dépendre essentiellement de celui de l'excentrique *e*, quoiqu'il soit altéré par *e'*. Dans cette nouvelle position le calage normal s'obtiendrait en menant *oε'* perpendiculaire à *oc''*; l'angle

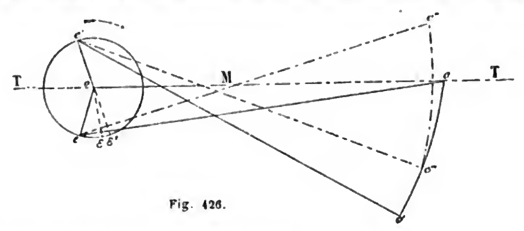


Fig. 426.

d'avance sera donc *ε'oe* plus grand que *εoe*.

Si tout en conservant les mêmes notations nous attachons les barres d'excentriques, de manière que celui de marche en avant commande le bas de la coulisse, celui de marche en arrière le haut de cette coulisse (fig. 427), nous aurons le

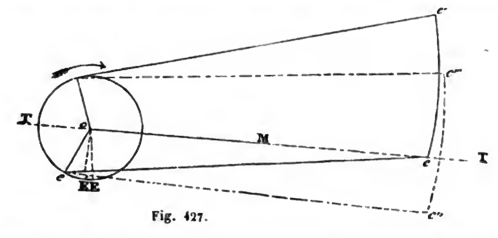


Fig. 427.

calage normal pour la course maxima du tiroir en élevant *o* E perpendiculaire à *o c*. Pour diminuer la course du tiroir il faudra abaisser la coulisse en *c'' c'''* par exemple; le nouveau calage normal sera en *o* E' perpendiculaire à *o c''*. Le nouvel angle d'avance ne sera plus que *e o*E' plus petit que *e o* E.

Les choses se passent de même pour la marche en arrière, ce dont on s'assure aisément en répétant les raisonnements par lesquels nous venons de passer; on en conclut donc la propriété suivante de la coulisse de Stephenson.

Si l'excentrique de marche en avant commande le haut de la coulisse, l'avance angulaire augmente quand on augmente la détente.

Si l'excentrique de marche en avant commande le bas de la coulisse, l'avance angulaire diminue quand on augmente la détente.

Si l'on étudie la marche relative du piston et du tiroir au moyen de courbes analogues à celles dont nous avons indiqué la construction, on est conduit aux conclusions suivantes :

En diminuant la course des tiroirs, on diminue la longueur des orifices par lesquels la vapeur s'introduit dans le cylindre et s'en échappe.

Il en résulte une diminution notable de la pression de la vapeur qui agit sur les pistons, par conséquent aussi une diminution dans l'effet utile de cette vapeur.

Si l'on dispose le tiroir de manière que l'avance soit la même pour les deux points morts de la manivelle, les ouvertures maxima des lumières ne seront pas les mêmes pour les deux faces du piston, et l'échappement ne sera pas régulier, c'est-à-dire que les deux positions de la manivelle pour lesquelles commence l'échappement, ne seront pas situées sur une même ligne droite passant par l'essieu moteur.

Si au contraire on règle le tiroir de manière que l'ouverture des lumières soit la même pour les deux faces du piston, l'échappement sera sensiblement régulier ; mais l'avance ne sera plus la même pour les deux côtés.

Ces irrégularités sont dues à ce que le point c' (fig. 426 et 427), par lequel la coulisse est suspendue à l'arbre de relevage, décrit un arc de cercle au lieu de se mouvoir sur une ligne droite, de sorte que le coulisseau ne conserve pas une position invariable dans la coulisse pendant un tour de roue entier. Si le coulisseau pouvait être fixé d'une manière simple en un point quelconque de la coulisse, ce défaut de l'appareil disparaîtrait.

Le calage des deux excentriques étant le même et la barre

de marche en avant étant attachée au haut de la coulisse, l'avance linéaire augmente en même temps que la détente. Il en résulte que plus on détend, plus on prolonge la marche à contre-vapeur. L'échappement commence aussi plus tôt, de sorte que le travail de la détente est perdu en partie. Enfin l'on augmente la durée de la période de compression.

Si l'on attache la barre d'excentrique de marche en avant au bas de la coulisse, l'avance linéaire diminue à mesure que la détente augmente.

Fig. 428.

L'échappement commence plus tard, ainsi que la marche à contre-vapeur; et la durée de la compression diminue. Mais, d'un autre côté, on est exposé à avoir du retard à l'admission quand on détend beaucoup, et, comme la marche en forte détente est la plus avantageuse, on préfère généralement attacher la barre d'excentrique de marche en avant au haut de la coulisse.

On peut corriger en partie les défauts de cet appareil de détente en sacrifiant la marche en arrière qu'on emploie rarement à la marche en avant. C'est ce que M. Polonceau a fait avec succès dans plusieurs machines du chemin de fer d'Orléans, dans lesquelles il a augmenté l'avance angulaire de la marche en avant aux dépens de celle de la marche en arrière.

Sur plusieurs chemins anglais on a adopté la coulisse de Stephenson modifiée comme l'indique la fig. 428.

Dans cette disposition la tige du tiroir est guidée par de petites glissières et articulée à une bielle b d'une grande longueur qui porte le coulisseau. La coulisse présente sa concavité vers l'avant de la machine et est tracée avec un rayon égal à la bielle b; elle est suspendue au moyen d'une bielle b' à un point fixe pris sur la chaudière ou sur le châssis. On effectue le changement de marche et l'on varie la détente en faisant descendre ou monter le coulisseau dans la coulisse.

Il est aisé de voir que, dans ce cas, l'avance ne varie pas avec le degré de la détente, pourvu que l'angle de calage et la longueur des bielles soient les mêmes pour les deux excentriques.

Afin de remédier en même temps à l'autre vice capital de la coulisse Stephenson, savoir au rétrécissement des lumières quand on marche en grande détente, on a imaginé la disposition suivante qui commence à être fort usitée en Angleterre.

Le tiroir T (fig. 429) est un bloc prismatique dressé sur sa face inférieure et sur les positions $a\ b$, $a'\ b'$ de sa face supérieure. Une plaque P P, également dressée, repose sur cette face supérieure et reste fixe pendant que le tiroir exécute son mouvement.

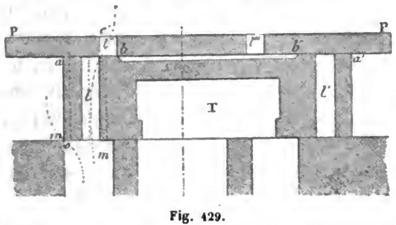


Fig. 429.

Les rebords du tiroir et la plaque sont percés de lumières l, l', l'' et l''' disposées de telle façon que, quand le rebord m du tiroir est sur le point de découvrir celui c de la table, le bord m de la lumière l coïncide également avec celui c' de la plaque supérieure. On conçoit aisément que, si la lumière est ouverte de 6 millimètres en c, elle le sera de la même

quantité en c' : les passages par lesquels la vapeur se rend dans les cylindres sont donc doublés.

Détentes à deux tiroirs. On a proposé différentes dispositions pour faire varier la détente au moyen d'appareils distincts des tiroirs. Les deux principaux sont le *système Meyer* et le *système Gonzenbach.*

Système Meyer. — Dans cet appareil le tiroir est prolongé à ses deux bouts de manière à présenter au delà de ses rebords deux trous de même section que les lumières (fig. 430).

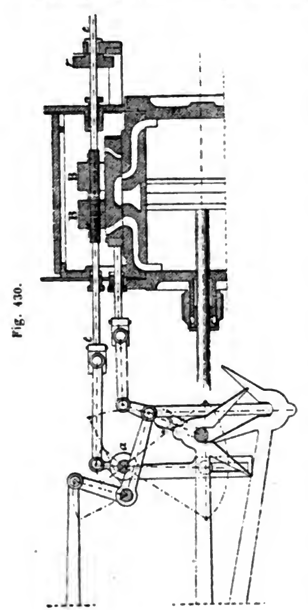


Fig. 430.

Quand ces trous correspondent aux lumières la vapeur pénètre dans le cylindre. Sur ce tiroir reposent deux tasseaux ou blocs prismatiques *B B* emmanchés sur une tige filetée *t*. Les pas des portions de vis qui entrent dans chacun des blocs sont en sens inverse ; la tige reçoit le mouvement de la tige du piston par l'intermédiaire d'un petit arbre de distribution *a* qui porte deux manivelles ; elle marche donc en sens inverse du piston.

Dans la première partie de la course du piston le tiroir et les blocs marchent dans un sens inverse.

Si avant que le piston soit arrivé au bout de sa course un des blocs vient à recouvrir le trou du tiroir qui admet la vapeur dans le cylindre, et s'il ne découvre pas cette lumière avant que

le piston ait achevé sa course, la vapeur agira par détente à partir du moment où le passage aura été intercepté.

Le bloc qui doit intercepter l'admission se trouvant placé entre les deux trous du tiroir au départ du piston, le trou et le bloc iront d'abord à la rencontre l'un de l'autre et se superposeront si leurs positions initiales et leurs courses sont convenablement calculées.

Dans la seconde période de leur mouvement ils marcheront dans le même sens; mais comme leur mouvement ne sera pas le même, leur position relative changera encore et pourra toujours donner lieu à une superposition si celle-ci n'a pas eu lieu dans la première période.

Le mouvement du tiroir et celui des blocs sont invariables; il en résulte que les rebords extérieurs des trous du tiroir et du bloc se rencontreront d'autant plus vite que les blocs seront plus écartés. Le mécanicien fait varier cet écartement et par conséquent le point où commence la détente, en tournant la tige filetée des blocs au moyen de roues dentées, d'arbres et d'une manivelle. L'une de ces roues r est montée sur la tige filetée, mais elle ne la suit pas dans son mouvement de va-et-vient; elle glisse à frottement doux sur cette tige et l'entraîne dans le mouvement de rotation que lui imprime le mécanicien, au moyen d'une languette qui pénètre dans une rainure.

La détente Meyer présente de nombreux avantages sur celle de Stephenson que nous venons de décrire.

La marche du tiroir étant la même dans toutes les positions des blocs sur leurs tiges, les orifices présentent toujours la même section, quel que soit le degré de détente auquel on marche. L'avance à contre-vapeur ne varie pas, non plus que l'avance à l'échappement; on peut donc se régler une fois pour toutes, de manière qu'elles se trouvent dans les meilleures conditions possibles.

Enfin la compression qui, dans ces appareils à courses variables, croît si rapidement avec la détente, reste constam-

ment la même et peut être réduite à la limite à laquelle elle cesse d'être utile.

Cependant la détente Meyer est complétement abandonnée en France à cause de la complication de ses organes, des nombreuses réparations qu'elle nécessite et enfin du frottement considérable qui résulte du glissement des blocs sur le tiroir. En Autriche cet appareil est toujours en faveur ; seulement les blocs ne sont plus mis en mouvement par la crosse du piston, mais par un troisième excentrique[1].

1. On se rendra aisément compte de la manière dont agit la détente Meyer en construisant deux courbes, l'une indiquant la marche du tiroir, l'autre celle des blocs, par rapport au piston (fig. 431). Plaçant les origines des deux cour-

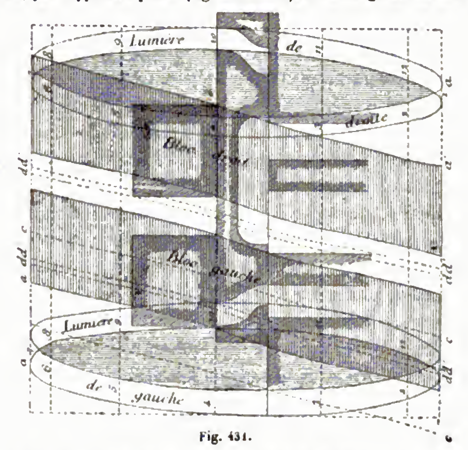


Fig. 431.

bes $a - a'$ à une distance égale à celle qui sépare l'arête extérieure du bloc de l'arête extérieure de l'orifice du tiroir au moment où le piston est à bout de course, on verra que les deux arêtes vont à la rencontre l'une de l'autre, se croisent en se dépassant, se rapprochent de nouveau, puis se croisent une seconde fois. Pour que la détente se fasse d'une manière utile il faut :

1° Que le second croisement des deux arêtes n'ait pas lieu avant que le piston soit arrivé à l'autre bout de sa course; sans quoi on aurait dépensé une cylindrée entière de vapeur sans que celle-ci ait agi sur le piston autrement que par détente pendant que l'admission aurait été interceptée.

Système Gonzenbach et Delpèche. — Dans ces deux systèmes le tiroir proprement dit est absolument semblable aux tiroirs ordinaires. La vapeur est d'abord admise dans une pre-

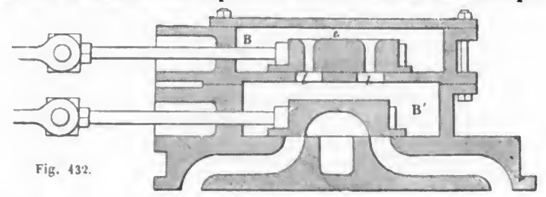


Fig. 432.

mière boîte à vapeur B (fig. 432) qui communique avec la seconde B' par deux lumières *l*, *l*. Un second tiroir *t* analogue à celui du système Meyer, glissant sur la table qui porte ces orifices, livre passage à la vapeur ou intercepte ce passage

2° Que l'arête intérieure du bloc ne dépasse jamais l'arête intérieure de l'orifice du tiroir, sans quoi la vapeur serait également réadmise avant que le piston ait terminé sa course. — Pour remplir cette dernière condition, il faut que la largeur du bloc soit au moins égale à celle de l'orifice du tiroir augmentée de la quantité maxima dont les deux arêtes extérieures se dépassent, laquelle se mesure par l'écartement maximum des deux courbes *bb*. On voit du reste que, plus on détend, plus cette largeur est grande.

L'étude de ces courbes montre en outre :

1° Que les pas des deux vis qui servent à écarter ou à rapprocher les blocs ne doivent pas être les mêmes si l'on veut que la détente soit constamment la même pour les deux faces du piston. Ceci résulte de ce que les espaces parcourus par le piston ne sont pas symétriques des deux côtés du milieu de sa course, tandis que la marche du tiroir dont la bielle est fort longue par rapport à l'excentricité, est presque la même que celle de la projection du centre de l'excentrique.

2° Que par la même raison la largeur minima à donner aux deux blocs n'est pas non plus la même.

3° Que pour une course donnée des blocs il y a une détente maxima *cc*. Si l'on veut détendre plus que ce maximum, l'orifice se découvre en arrière avant que le piston soit arrivé à bout de course et l'on dépense en pure perte toute la vapeur qui aurait été admise utilement pendant la période de détente si l'admission n'avait pas été interceptée.

4° Que pour une course donnée des blocs il y a également une détente minima *d d'*. Si l'on veut détendre moins que ce minimum, l'orifice se découvre de nouveau avant que le piston soit arrivé à bout de course et la dépense de vapeur se trouve être la même que si l'on n'avait pas détendu *d d'*.

5° Que les portions de course du piston pendant lesquelles les blocs rétrécissent les orifices du tiroir sont fort courtes, de sorte que la vapeur est fort peu gênée dans son mouvement.

suivant que ses orifices recouvrent ou non ceux de la table. Ce tiroir est mis en mouvement par l'excentrique de marche en arrière ; il n'agit que quand la machine marche en avant. En variant sa course au moyen d'une coulisse analogue à celle de Cabry (fig. 423), on fait varier la détente. L'appareil de M. Delpèche ne diffère de celui de M. Gonzenbach que par la forme de la coulisse qui permet de ne pas détendre du tout ; cette modification avait été reconnue nécessaire à cause de la difficulté qu'on éprouvait à démarrer avec l'appareil primitif dans certaines positions de la manivelle.

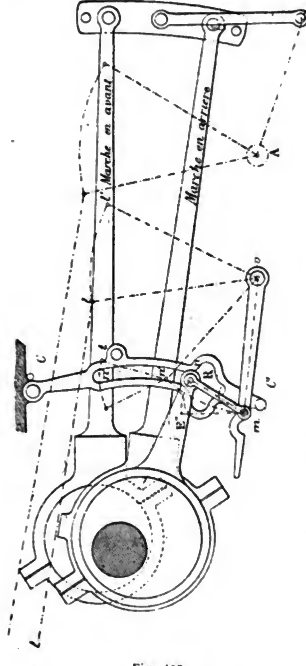


Fig. 433.

Cette coulisse c c' (fig. 433) est suspendue par un point fixe c sous la chaudière ; elle oscille autour de ce point fixe, entraînée par la barre d'excentrique E", dont le collier est monté sur une poulie d'excentrique parfaitement semblable à celle de la marche en arrière. Le tiroir auxiliaire étant mis en mouvement par le point t de la coulisse, il suffit de faire varier l'amplitude de la course de cette coulisse pour produire le même effet sur le tiroir de détente. A cet effet l'arbre manœuvré depuis la plate-forme du mécanicien par une bielle l l et

une manivelle *l v* porte une seconde manivelle *m v*, reliée à l'extrémité de la barre d'excentrique E″ au moyen de la petite bielle *m n*. En faisant parcourir au point *l* l'arc *l l'* on fera parcourir au point *m* l'arc *m m'*, et l'on fera passer l'extrémité de la barre E″ de *n* et *n'*. Si l'on amène le bouton *n* dans la partie R de la coulisse où celle-ci s'élargit tout à coup, la barre E″ exécutera son mouvement sans entraîner la coulisse, et celle-ci, restant immobile, ne produira plus de détente. Le tiroir principal est mis en mouvement par une coulisse ordinaire commandée par un arbre de relevage A et un levier de changement de marche.

Ces appareils sont aujourd'hui abandonnés parce qu'ils étaient sujets à se déranger et parce que la seconde boîte à vapeur rendait difficile la visite du tiroir principal. Ils avaient sur l'appareil Meyer l'avantage d'être plus simples et de pouvoir s'appliquer aux anciennes machines en se bornant à modifier légèrement la boîte à vapeur ; mais ils lui étaient inférieurs sous le rapport théorique, parce que la vapeur se détendait aussi bien dans la seconde boîte que dans le cylindre et qu'ainsi une partie de son travail mécanique était perdue. Nous avons cru devoir nous étendre aussi longuement sur les systèmes de détente à deux tiroirs, parce que seuls ils utilisent convenablement la vapeur. Chaque jour les exigences du service forcent à augmenter la puissance des machines ; pour cela on augmente la production de vapeur au moyen de surfaces de chauffe énormes, et les appareils atteignent des poids de plus en plus considérables. Ne serait-il pas avantageux de chercher une partie de cette augmentation de puissance dans un emploi plus rationnel de la vapeur ?

Excentriques. — Les excentriques des machines locomotives sont en fonte. Ils portent deux joues qui présentent une faible saillie sur la circonférence de l'excentrique. Dans cette espèce de gorge vient se loger le collier d'excentrique, sorte de bague en bronze faite en deux morceaux assemblés à boulons. Quelquefois le collier est en fer ; dans ce cas l'une de ses moi-

tiés est alors venue de forge avec la barre d'excentrique (fig. 407 B); quand le collier est en bronze, la barre est assemblée comme l'indique la figure 407 A. Quelquefois c'est le collier qui porte une gorge dans laquelle vient s'engager l'excentrique (fig. 434). Généralement les deux excentriques d'un même tiroir sont fondus ensemble ; mais presque toujours on est obligé de les composer de deux parties réunies par des boulons *b*, *b* logés dans la fonte et serrés au moyen de cla-

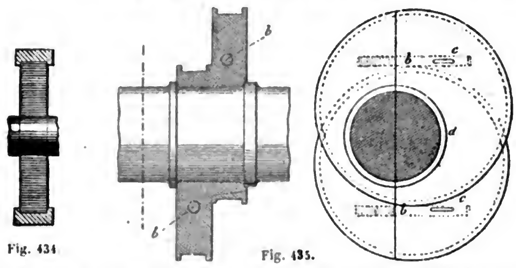


Fig. 434 Fig. 435.

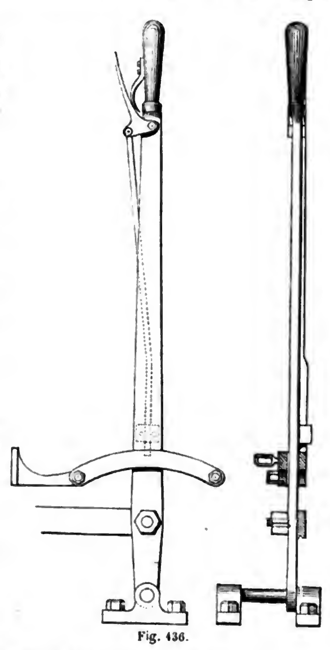
vettes *cc* (fig. 435). L'excentrique est fixé sur l'arbre moteur par le moyen de clavettes *d*; autrefois on se servait de vis de serrage ; mais elles sont insuffisantes.

Dans les anciennes distributions les fourchettes étaient venues de forge avec les barres ; elles devaient être assez évasées pour rencontrer le manneton de l'arbre de distribution dans toutes leurs positions. Actuellement on termine ces barres par une simple chape qui vient embrasser l'extrémité de la coulisse.

Les arbres de distribution et de relevage sont en fer d'une seule pièce avec toutes leurs manivelles. Les autres pièces de transmission sont également en fer.

Coulisse. — Nous avons déjà indiqué (fig. 412, p. 310) une disposition de coulisse, dite coulisse simple. On en emploie quelquefois une autre appelée coulisse double. La tige du tiroir est fixée sur un étrier au moyen de deux écrous qui permettent de régler avec facilité la longueur de cette tige.

L'étrier est articulé sur une pièce appelée guide carré, laquelle est dirigée dans son mouvement rectiligne par un support fixé sur le bâti de la machine. L'autre extrémité du guide carré porte un tourillon sur lequel sont emmanchés deux petits coulisseaux en acier qui glissent chacun dans la rainure d'une des parties de la coulisse. Généralement la coulisse double est suspendue à l'arbre de relevage vers le milieu de sa hauteur.


Fig. 436.

Levier de changement de marche (fig. 436 et 437).—Le levier de changement de marche le plus généralement adopté est représenté fig. 437. Il est entièrement en fer forgé, son point fixe *o* est pris tantôt sur la chaudière, tantôt sur le bâti de la machine. Il porte une mortaise *m*, dans laquelle pénètrent le secteur S S et une petite tringle *t t* appelée verrou, sollicitée par un ressort à se loger dans les crans *c c' c"* de ce secteur. Le secteur est attaché comme le point fixe sur la chaudière ou sur le bâti; la grande tringle ou bielle de changement de marche est articulée sur le goujon *g*.

Quand on veut changer la marche ou faire varier la détente, on soulève le verrou, on amène le levier à la position voulue et on laisse retomber le verrou dans le cran.

Comme les machines marchent presque toujours en avant, il est bon que le mécanisme de changement de marche soit disposé de façon que le levier se trouve incliné vers l'avant pour la marche en avant, parce que, si le verrou vient à manquer, le levier, sollicité par le frottement du tiroir, est chassé avec violence vers l'extrémité du secteur vers laquelle il est incliné, et blesse infailliblement le mécanicien s'il se trouve à sa portée.

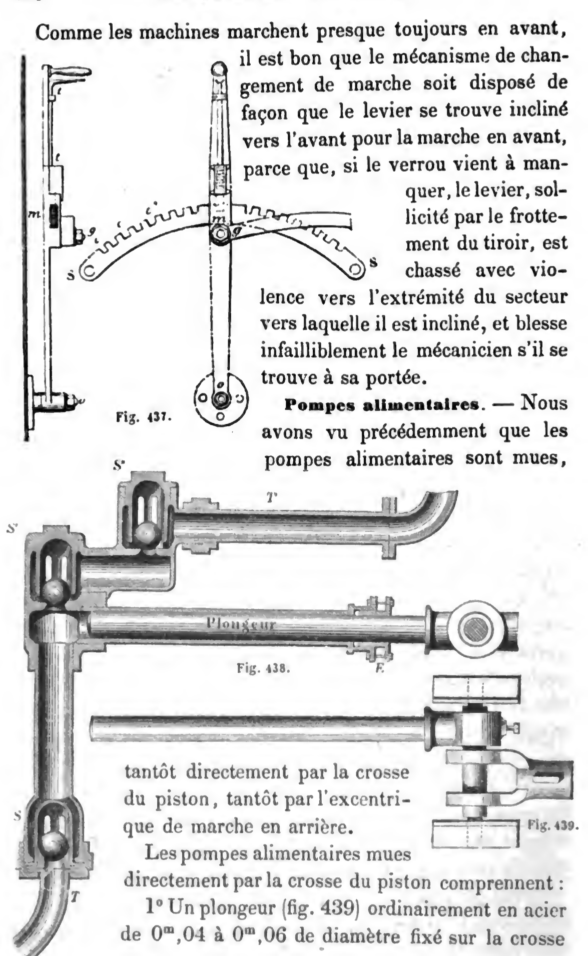


Fig. 437.

Fig. 438.

Fig. 439.

Pompes alimentaires. — Nous avons vu précédemment que les pompes alimentaires sont mues, tantôt directement par la crosse du piston, tantôt par l'excentrique de marche en arrière.

Les pompes alimentaires mues directement par la crosse du piston comprennent :

1° Un plongeur (fig. 439) ordinairement en acier de $0^m,04$ à $0^m,06$ de diamètre fixé sur la crosse

du piston parallèlement à la tige de celui-ci. Ce plongeur traverse un presse-étoupes E qui forme obturation au dehors.

2° Un corps de pompe en bronze ou en fonte dans lequel se meut le plongeur (fig. 438). Le diamètre intérieur de ce corps de pompe est un peu plus grand que celui du plongeur afin que celui-ci puisse s'y mouvoir librement. Le corps de pompe est fixé sur le châssis de la machine ou sur le support des glissières.

3° Trois soupapes ordinairement à boulet et leurs chapelles. La soupape S s'ouvre de dehors en dedans du cylindre, elle sert à l'aspiration. Les soupapes S', S" s'ouvrent de dedans en dehors ; elles servent au refoulement. Une seule d'entre elles serait nécessaire, mais comme elles sont sujettes à se déranger, on en met deux pour plus de sûreté.

4° Deux tuyaux en cuivre rouge appelés, l'un, tuyau d'aspiration, T; l'autre, tuyau de refoulement, T'[1].

Le premier part de la chapelle d'aspiration et se rend au réservoir d'eau du tender. Comme la position du tender varie par rapport à celle de la machine, une partie de ce tuyau d'aspiration doit être flexible.

Le second sort de la chapelle de refoulement et aboutit au robinet de retenue, fixé sur la chaudière et généralement près de la boîte à fumée.

Ce robinet sert à intercepter la communication de la chaudière avec la pompe quand celle-ci vient à se déranger. Souvent la seconde chapelle de refoulement fait suite au robinet de retenue, de sorte que le tuyau de refoulement est interposé entre les deux chapelles de refoulement. Cette disposition est très-convenable ; quand elle n'existe pas, il arrive fréquemment que le tuyau de refoulement venant à crever, on éprouve beaucoup de difficulté à fermer le robinet de retenue à cause de l'eau bouillante projetée ; alors la chaudière se vide rapidement.

1. Dans quelques anciennes machines de Stephenson le tuyau de refoulement aboutissait au foyer. Cette disposition était vicieuse, parce que l'eau froide d'alimentation qui venait frapper le foyer dont les parois sont toujours à une température élevée, *saisissait* ces parois et occasionnait ainsi des fuites nombreuses.

Entre les deux soupapes de refoulement se trouve une tubulure d'où part un petit tuyau muni d'un robinet que le mécanicien manœuvre de sa plate-forme. En ouvrant ce robinet on permet à l'air contenu dans le corps de pompe de se dégager, et l'on voit que la pompe fonctionne quand le jet intermittent qui s'en échappe est bien franc, et quand ses pulsations coïncident avec celles de la pompe.

Les pompes mues par les excentriques ne diffèrent des précédentes que par le diamètre et la course du plongeur (voir fig. 440). On les fixe quelquefois au châssis; plus généralement à la chaudière contre la paroi antérieure de la boîte à feu.

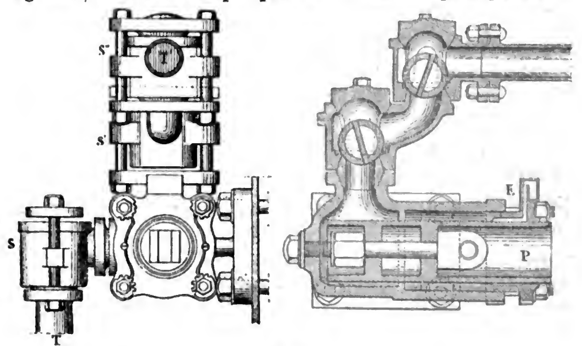


Fig. 440.

Quelques constructeurs placent sur les machines locomotives une petite machine à vapeur spéciale qui met en mouvement une pompe alimentaire. Cette disposition est plus particulièrement appliquée aux machines à marchandises qui sont souvent obligées de stationner fort longtemps sur les voies de garage pour attendre le passage des trains à voyageurs. Nous pensons qu'il conviendrait d'en étendre l'emploi aux machines à voyageurs.

Au chemin de Strasbourg on a reconnu que les pompes étant placées à l'extérieur, l'eau, au moment des grands froids, était exposée à geler, et on les a transportées à l'intérieur.

DU TRAIN.

Le train se compose essentiellement :

1° Du châssis avec ses accessoires, tels que chasse-pierres, attelages, plate-forme ;

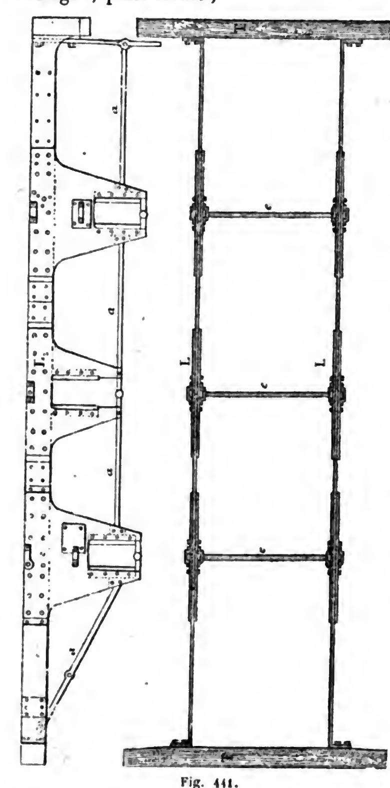


Fig. 441.

2° Des roues ;

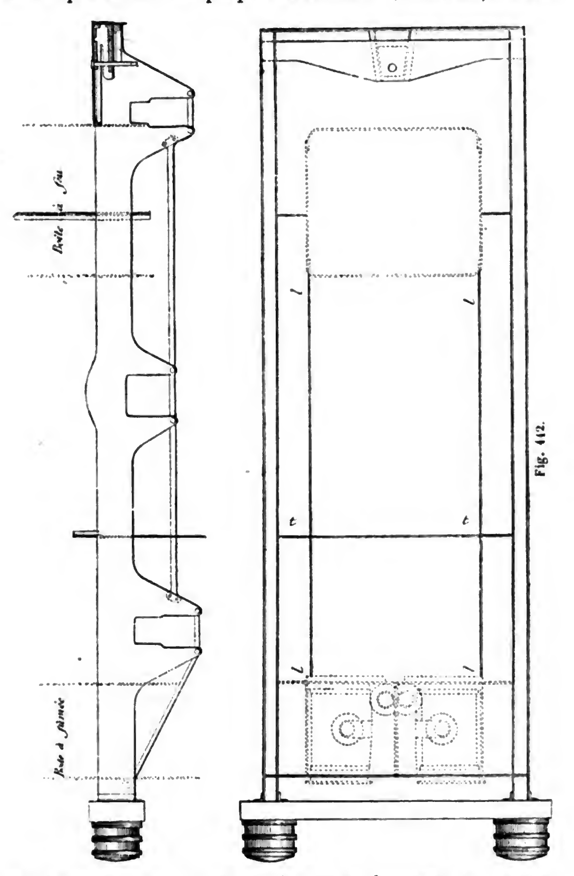
3° Des boîtes à graisse et ressorts.

Châssis.—Que le châssis soit intérieur ou qu'il soit extérieur, il se compose toujours essentiellement de deux *longerons* réunis par deux *traverses*.

Dans les châssis intérieurs (fig. 441) les longerons L sont ordinairement de fortes barres de fer de 0m,20 de largeur, sur 0m,03 d'épaisseur, terminées à leurs deux extrémités par des pattes venues de forge sur lesquelles on boulonne les traverses T, T en bois

Les plaques de garde, dont les fonctions sont les mêmes

que dans les wagons, sont généralement doubles; elles se composent de deux plaques en tôle de $0^m,012$ à $0^m,015$ d'é-



paisseur, fixées de part et d'autre au longeron au moyen

de rivets qui traversent les trois épaisseurs. Quelquefois on ne met qu'une plaque de garde qui alors a de $0^m,017$ à $0^m,020$ d'épaisseur ; enfin il existe même des châssis dans lesquels ces plaques sont venues de forge avec les longerons, disposition qui donne une épaisseur moindre à ce longeron, et permet ainsi d'augmenter sensiblement les dimensions transversales de la chaudière. Quelquefois on supprime la traverse d'arrière en bois et on dispose l'appareil d'attelage de la machine au tender de manière à remplacer cette traverse (fig. 442).

Afin de donner plus de rigidité au châssis, on relie les extrémités inférieures des plaques de garde par de fortes armatures *a a* en fer méplat. Dans le même but on réunit les plaques de garde d'un même essieu au moyen d'entretoises *e e* en fer rond (fig. 441).

Quand le châssis est extérieur, on ne peut plus relier les plaques de garde par des armatures transversales ; il faut alors que les longerons présentent plus de rigidité par eux-mêmes. A cet effet on les construit en bois doublé de tôle des deux côtés ; les plaques de garde sont alors entaillées dans ces tôles ou rapportées comme dans les châssis intérieurs (fig. 442).

En général les châssis extérieurs nécessitent l'emploi de petits longerons supplémentaires ou longereaux *l l* (fig. 442), sur lesquels on fixe ces glissières et quelquefois des boîtes à graisse auxiliaires de l'essieu moteur.

Souvent on relie aussi les longerons des châssis quelconques par des traverses *t*, *t'* (fig. 442) en tôle ou en fer forgé qui leur donnent de la rigidité et servent de points d'attache aux pièces du mécanisme.

On relie la chaudière au châssis :

A l'avant, au moyen de supports en fer forgé rivés sur la boîte à fumée et boulonnés sur les longerons, ou simplement en boulonnant cette boîte à fumée contre les cylindres ;

Sous le corps cylindrique, par des supports en fer forgé ou en tôle (fig. 443 et 444) rivés sur la chaudière et boulonnés sur les longerons entre les essieux. Comme la chaudière

doit pouvoir se dilater, indépendamment du châssis, on ovalise les trous par lesquels les boulons traversent les longerons.

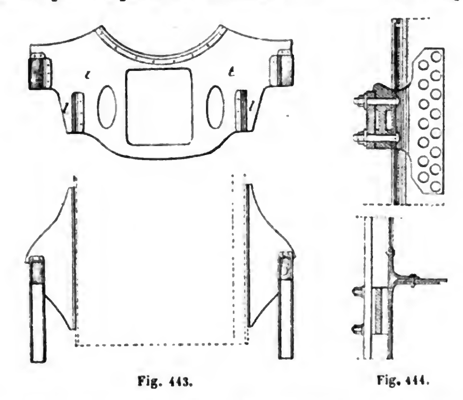


Fig. 443. Fig. 444.

Au droit de la boîte à feu par l'emploi de cornières rivées sur la chaudière et qui reposent sur le châssis, ou d'agrafes en fer ou en fonte (fig. 445) interposées entre le longeron et de fortes oreilles venues sur les parois latérales de la boîte à feu et consolidées au moyen d'équerres en tôle rivées sur les parois transversales de cette capacité. Les longerons, agrafes et oreilles sont réunis par de forts boulons.

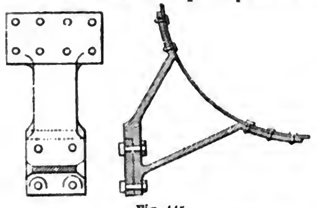


Fig. 445.

Quand les machines ont un châssis intérieur pour les roues motrices et un autre extérieur pour les petites roues (machines Buddicom, Crampton), il y a quatre longerons en tôle de $0^{m},025$ d'épaisseur ou en bois et tôle, comme pour les machines à châssis extérieur. Ces quatre longerons sont reliés par plusieurs traverses en tôle.

Les chasse-pierres sont deux tiges verticales en fer fixées par leur partie supérieure à la traverse d'avant des châssis et descendant jusqu'à $0^m,05$ à $0^m,06$ des rails à l'aplomb de ces rails. Ils sont réunis à peu près au milieu de leur longueur par une entretoise et consolidés par deux contre-fiches qui les relient aux longerons ou aux plaques de garde de l'essieu d'avant. Les chasse-pierres, comme l'indique leur nom, servent à débarrasser les rails des corps étrangers qui pourraient les obstruer.

Depuis quelque temps on place aussi des chasse-pierres sur le tender. Ils ont pour but de prévenir les accidents dans le cas où la machine marche en arrière.

On réunit la machine au tender par le moyen d'un tendeur ou d'une barre d'attelage. Le tendeur est construit sur le modèle de celui que nous avons décrit en parlant des wagons. Les deux anneaux s'engagent dans deux crochets dont l'un est fixé au châssis de la machine, l'autre à celui

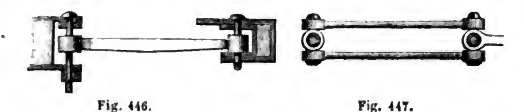


Fig. 446. Fig. 447.

du tender. En général l'un de ces crochets agit sur le châssis par l'intermédiaire d'un ressort de traction.

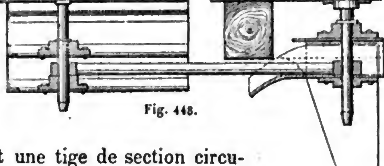


Fig. 448.

Ordinairement on fait usage d'une barre d'attelage. Celle-ci est une tige de section circulaire renflée vers son milieu et terminée à ses extrémités par deux têtes percées de trous dans lesquels on engage les boulons d'attelage. Ces boulons traversent deux rondelles en fer ou en acier rivées sur deux fortes plaques de tôle fixées à l'arrière de la boîte à feu

ou mieux entre les longerons du châssis (fig. 446, 447 et 448).

Outre la barre d'attelage on place généralement de part et d'autre de cette barre deux espèces de chaînes de sûreté.

La traverse d'avant des machines est munie en son milieu d'un crochet ou d'un piton à anneau qui sert à l'atteler derrière une seconde machine ou à la réunir à l'arrière d'un train qu'elle doit refouler dans une manœuvre. Elle porte en outre deux tampons en cuir rembourré de filasse ou en caoutchouc volcanisé qui s'appuient sur les tampons du tender ou du wagon qui se trouve en queue.

La plate-forme du mécanicien est composée de feuilles de tôle qui reposent sur le châssis, directement ou par l'intermédiaire de consoles; autant que possible on la fait régner tout autour de la machine afin de pouvoir en visiter toutes les parties pendant la marche. La plate-forme proprement dite qui entoure la boîte à feu est munie d'un garde-corps qui est généralement formé de feuilles de tôle assemblées vers l'arrière sur de petites colonnettes en fer et à sa partie supérieure sur une main-courante qui part de la chaudière et aboutit au sommet de ces colonnettes.

Roues et essieux. — Les dimensions des roues de locomo-

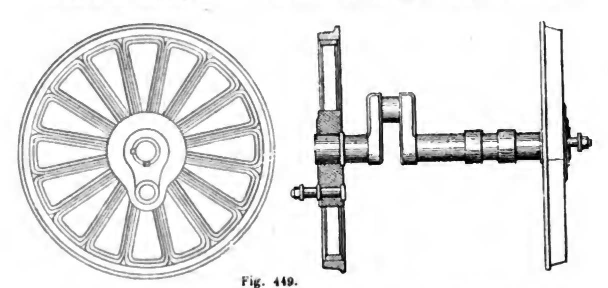


Fig. 449.

tives varient entre 1 mètre et $2^m,10$ et même au delà ($2^m,40$, $2^m,60$). Ces roues sont en général en fer forgé avec bandage en

fer rapporté; cependant en Amérique on a employé souvent des roues entièrement en fonte et coulées d'un seul morceau. Quelle que soit la nature de la fonte employée, ces roues sont dangereuses, au moins pour les machines qui marchent à de grandes vitesses.

Les roues de locomotives le plus généralement employées sont à rais en fer coudé (fig. 449) ou en fer forgé (fig. 450).

Dans le premier cas il est bon de les munir d'un faux bandage (voir wagons, p. 147); les moyeux sont toujours en fonte ou en fer. Dans le second cas le faux bandage est inutile, le moyeu est généralement en fonte ; cependant on exécute maintenant des roues dont les moyeux sont venus de forge avec les rais. Les roues à rais forgés, quoique plus coûteuses que celles à rais coudées, sont aujourd'hui préférées parce qu'elles sont bien plus durables et conservent plus longtemps leurs bandages.

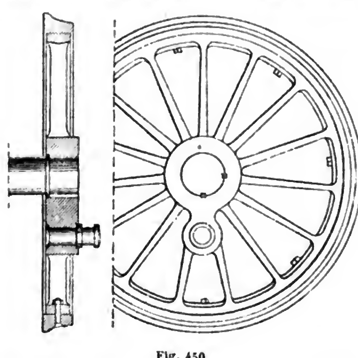


Fig. 450.

Les moyeux des roues de locomotives sont calés sur les parties ménagées sur les essieux au moyen de la presse hydraulique ; on les empêche de tourner sur ces essieux au moyen de deux clavettes en acier enfoncées à coups de masse après l'opération du calage[1].

Les fusées des essieux doivent présenter une surface consi-

1. Entre les rais des roues motrices et à peu près à l'opposé de la manivelle on place depuis quelque temps des contre-poids destinés à diminuer les perturbations qu'éprouvent les machines dans leur marche.

M. Lechâtelier a publié sous le titre d'*Études sur la stabilité des machines loco-*

dérable, afin que la pression qu'elles supportent ne les fasse pas chauffer en s'opposant au graissage.

Quand elles sont extérieures, on atteint ce but en les allongeant; quand elles sont intérieures, en leur donnant un fort diamètre. Les collets de ces fusées ne doivent pas être trop bas, sans quoi ils prennent en peu de temps du jeu dans les coussinets des boîtes à graisse. Il faut éviter soigneusement tous les angles vifs dans les angles rentrants que présentent ces essieux.

Boîtes à graisse, ressorts, etc. — Les boîtes à graisse se composent de trois parties, la boîte, le coussinet et le fond. Le coussinet est toujours en bronze, la boîte et le fond en fonte ou quelquefois en fer ou en bronze.

motives en mouvement, une notice dans laquelle il donne tous les renseignements nécessaires pour l'établissement de ces contre-poids. Néanmoins nous croyons devoir indiquer en quelques mots leur but et leur mode d'action.

Dans une machine locomotive en mouvement nous distinguons deux séries d'organes.

1° Ceux qui ne sont animés que d'un mouvement de translation sur la voie, tels que chaudière, châssis, cylindres, etc., et que nous appellerons *fixes*.

2° Ceux qui, outre le mouvement de translation général, possèdent un *mouvement relatif* par rapport aux organes fixes de la machine. Ce sont les pistons, leurs tiges et crosses, les plongeurs des pompes, bielles, manivelles, roues et l'appareil de distribution.

Les manivelles des deux systèmes moteurs étant calées à angle droit, nous pouvons déterminer pour chaque tour de roues quatre périodes distinctes dans la marche de ces pièces animées d'un mouvement de va-et-vient, combiné pour quelques-unes d'entre elles avec un mouvement de rotation.

Ire PÉRIODE. *Les pièces oscillantes des deux appareils moteurs marchent simultanément dans le sens du mouvement général.* Dans ce cas leur vitesse relative de translation s'ajoute à la vitesse relative des parties fixes de la machine; la puissance vive est à son maximum.

IIe PÉRIODE. *Les organes de droite continuent à avancer, tandis que ceux de gauche reculent.* A ce moment les premiers ont pour vitesse celle de translation augmentée de la vitesse relative, les seconds la même vitesse de translation diminuée de cette vitesse relative. L'avant de la machine tendra à se mouvoir transversalement à la voie de droite à gauche en tournant autour d'un axe vertical situé dans le plan de symétrie longitudinal de la machine.

IIIe PÉRIODE. *Les deux séries de pièces oscillantes marchent simultanément en sens inverse du mouvement général;* la puissance vive atteint son minimum.

IVe PÉRIODE. *Les organes de droite reculent tandis que ceux de gauche* revenus à droite reproduisent une situation analogue à celle de la deuxième période.

Le train étant animé d'une vitesse uniforme, dans la première période la machine tend à accélérer sa marche, et dans la troisième à la ralentir. Pour l'obser-

Quand ces boîtes sont entièrement en bronze, on supprime souvent le coussinet, ce qui force à remplacer complétement la boîte quand la fusée prend trop de jeu. — A sa partie supérieure, la boîte à graisse reçoit la tige de pression du ressort à peu près en son milieu ; des deux côtés de cette tige se trouvent deux réservoirs à huile qui communiquent avec la fusée par le moyen de petits canaux et de mèches de coton qui font office de siphon.

Les boîtes à graisse sont maintenues dans les plaques de garde par l'intermédiaire de glissières *g g* (fig. 451) en fonte dure. L'ajustage de ces pièces doit être très-soigné ; sans cela les axes du mécanisme ne conservent pas leurs positions relatives. — Les glissières s'usent assez rapidement ; aussi les munit-on souvent de coins de serrage *c*. — Quand le châssis est extérieur, on dispose

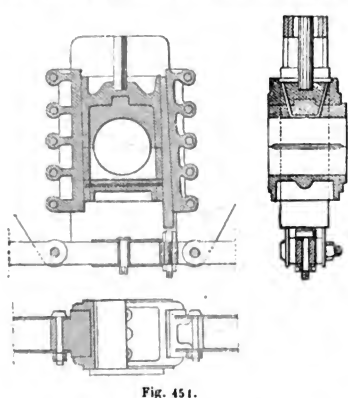


Fig. 451.

vateur placé sur la machine, celle-ci paraît prendre un mouvement alternatif d'arrière en avant et d'avant en arrière, lequel se traduit en secousses sur la barre d'attelage du tender. Ce mouvement s'appelle *mouvement de tangage*.

Les deuxième et quatrième périodes donnent lieu au mouvement de lacet dans lequel la machine pivote tantôt à gauche, tantôt à droite.

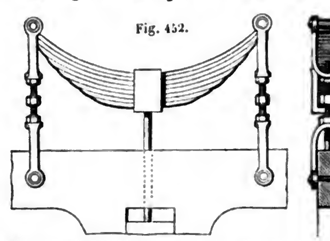
Si maintenant on dispose entre les rayons de chaque voie motrice, à l'opposé de la manivelle, un *contre-poids* convenablement calculé, ce contre-poids qui avancera quand les pièces oscillantes reculeront et reculera quand elles avanceront, agira en sens inverse de ces pièces et annulera ou du moins diminuera considérablement les perturbations que nous venons de signaler.

Outre le lacet et le tangage, il existe dans les machines deux autres mouvements anormaux : *le galop* et *le roulis*. Le galop est un mouvement de rotation de la machine autour d'un axe horizontal, transversal à la voie ; le roulis est un autre mouvement de rotation autour d'un axe horizontal situé dans le plan de symétrie longitudinal de la machine.

souvent des boîtes à graisse dans les longerons, et l'on soutient ainsi l'essieu coudé en quatre points.

Ressorts. — Les ressorts sont formés de lames d'acier superposées ; ils doivent être assez rigides pour que les oscillations du châssis par rapport à l'essieu moteur n'influent pas trop sur la distribution, et pour que les perturbations dont nous avons analysé les causes en parlant des contre-poids attachés aux roues ne donnent pas lieu à des mouvements oscillatoires trop sensibles. Pendant longtemps on se servait d'acier cémenté pour la fabrication des ressorts, on lui préfère maintenant l'acier fondu, qui jouit d'une élasticité et d'une homogénéité beaucoup plus grandes, ce qui permet l'emploi de ressorts composés de 9 feuilles au lieu de 15 à 18.

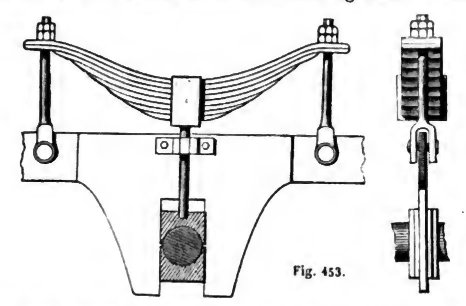
La figure 452 représente un ressort en acier cémenté avec son mode d'attache sur une longuerine de châssis extérieur. Les deux vis à filets opposés qui réunissent deux à deux les quatre étriers de suspension, servent à régler la tension du ressort, la tige cylindrique emmanchée dans la *chape* ou *bride* du ressort traverse le bois du châssis et vient presser sur le milieu de la boîte à graisse.


Fig. 452.

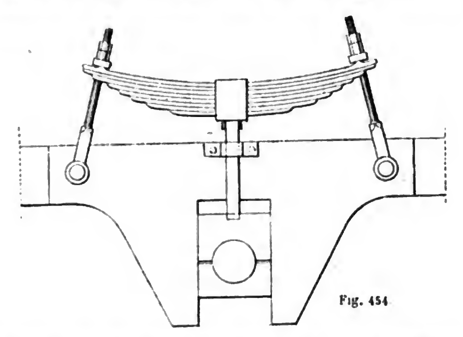
Ces deux mouvements sont dus à l'obliquité variable des bielles. La pression de la vapeur agit sur les pistons dans le sens de l'axe des cylindres ; cette pression se décompose en deux autres dont l'une s'exerce suivant les axes des bielles, l'autre normalement aux cylindres. Cette dernière composante agit sur la glissière supérieure pour la marche en avant, sur la glissière inférieure pour la marche en arrière ; elle varie d'intensité avec l'obliquité de la bielle ; quand cette obliquité est la même pour les deux appareils moteurs, elle produit le galop ; quand elle est très-différente pour les deux côtés de la machine, elle donne lieu au roulis.

Au moyen des contre-poids M. Lechâtelier combat également le roulis et le galop. M. Yvon de Villarceau a présenté à la Société des ingénieurs civils un travail dans lequel il a étudié, par l'analyse et de la manière la plus complète, la stabilité des machines locomotives en mouvement.

Dans les figures 453 nous avons donné un ressort en acier fondu monté sur châssis intérieur.—Les tiges de traction por-


Fig. 453.

tent chacune deux écrous qui, dans le système le plus nouveau, représenté fig. 454, reposent sur une rondelle. Celle-ci agit à


Fig. 454

son tour sur un couteau analogue à ceux des balances, refoulé aux deux extrémités de la maîtresse-feuille du ressort. La tige de pression est généralement double ; ses deux branches sont guidées des deux côtés du longeron au moyen de petits étriers.

Quelquefois on place les ressorts sur les boîtes à graisse. On renonce généralement à cette disposition pour les petites roues parce

que ces ressorts sont sujets à être endommagés par des objets qui peuvent rester accidentellement sur la voie.

On a, dans plusieurs machines de construction récente, remplacé les deux ressorts de l'essieu d'arrière par un ressort unique transversal dont les deux extrémités viennent porter chacune sur une des boîtes à graisse.

Dans la machine Crampton le châssis est suspendu par trois ressorts seulement. Les roues motrices supportent l'arrière de la machine par l'intermédiaire d'un ressort transversal unique, les roues d'avant d'un même côté de la machine n'ont également qu'un ressort unique.

Quelquefois on fait agir un ressort unique sur deux roues par l'intermédiaire d'un balancier. Les figures 455, 456 et 457 repré-

Fig. 456.

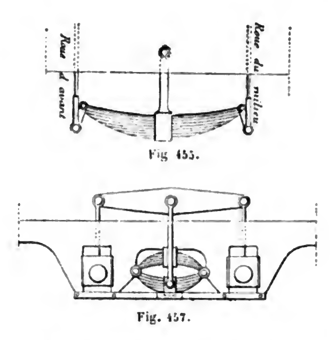


Fig. 455.

Fig. 457.

sentent deux dispositions de ce genre qui figuraient à l'exposition de Londres, l'une sur une machine de Hawthorn, l'autre sur une machine qui sortait des ateliers de

Seraing. Ces dispositions ont pour but de répartir la pression d'une machine égale sur les deux essieux.

TENDER.

Le tender est, comme nous l'avons dit, le fourgon sur lequel se placent l'eau et le coke nécessaires à l'alimentation de la machine en marche. Sa capacité est calculée d'ordinaire de manière à pouvoir contenir de 5000 à 6000 litres d'eau et 2000 à 2400 kilogrammes de coke. Cette quantité d'eau suffit généralement pour un parcours de 50 à 60 kilomètres, le coke pour 200 à 400 kilomètres suivant le système de la machine et l'habileté du mécanicien, le plus ou moins de vitesse du convoi et les circonstances atmosphériques.

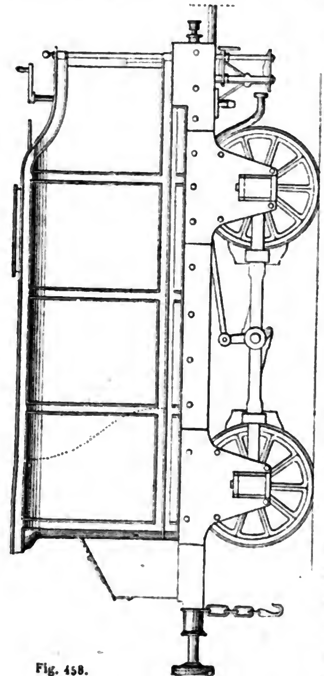


Fig. 458.

On dispose sur les grandes lignes, de 30 en 30 kilomètres au moins, des dépôts où les mécaniciens peuvent compléter leurs provisions d'eau et de coke.

Le tender (fig. 458 et 459) se compose d'un châssis et d'une caisse. Le châssis est quelquefois en bois, ordinairement en tôle. Il est porté sur 4 ou 6 roues par l'intermédiaire de ressorts et de boîtes à graisse comme les locomotives et les wa-

gons. A l'avant il reçoit le second boulon ou crochet d'attelage et les chaînes de sûreté. Il est muni en outre de tampons qui s'appliquent contre la traverse d'arrière de la machine. Quand la réunion de la machine au tender se fait au moyen d'une barre rigide, ces tampons sont en fer et sont constamment appuyés contre la traverse au moyen d'un ressort de pression, ou ils sont en caoutchouc volcanisé. Un appareil spécial, appelé *tendeur*, fait reculer les tampons quand on veut atteler. Quand on desserre le tendeur, les tampons viennent presser fortement contre la traverse de la machine et contribuent ainsi à la rigidité du système.

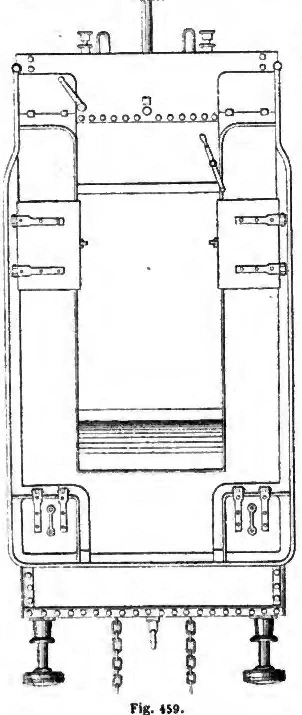


Fig. 459.

A l'arrière, le châssis est muni d'un système de choc et traction composé comme celui de wagons, d'un grand ressort qui porte en son milieu la *barre*, le *crochet* et le *tendeur* d'attelage et qui appuie par ses deux extrémités sur les tiges de tampons de choc. Deux chaînes de sûreté complètent le système d'attelage du tender au train.

La caisse est en tôle de 5 à 6 millimètres d'épaisseur ; elle se compose d'un fond sur lequel repose la *caisse à eau* en forme de fer à cheval. Entre les branches et sur la partie su-

périeure de cette caisse se charge le coke. Un ou deux trous d'homme garnis de couvercles et de paniers en cuivre percés de trous servent à l'introduction de l'eau et au nettoyage de la caisse. Ces trous sont généralement placés à l'arrière du tender et des deux côtés de sa paroi supérieure.

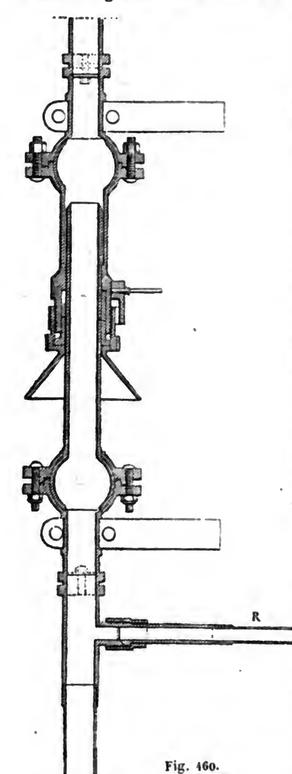


Fig. 160.

La prise d'eau se fait par le moyen de deux soupapes placées à l'avant de chacune des branches du fer à cheval. Ces soupapes se manœuvrent au moyen d'une tige à vis depuis la plate-forme du mécanicien; sous le plancher elles communiquent avec deux tuyaux en cuivre rouge qui viennent se placer dans le prolongement des tuyaux d'aspiration des pompes.

Tuyaux de raccordement. — L'attelage du tender avec la machine étant disposé de manière à permettre à ces deux appareils de s'incliner l'un par rapport à l'autre, les tuyaux de prises d'eau doivent se raccorder de manière à permettre ces mouvements. A cet effet, on a d'abord opéré la jonction des tuyaux de la machine avec ceux du tender au moyen de boyaux en cuir, en toile ou en caoutchouc volcanisé. Ces appareils sont imparfaits, longs à mettre en place et coûteux d'entretien; on leur préfère actuellement les tuyaux entièrement

métalliques représentés fig. 460. Sur les deux tuyaux en cuivre rouge, on fixe au moyen de brides et de boulons deux tuyaux en bronze, à *rotules*, qui peuvent prendre toutes sortes de positions par rapport à la partie fixe de l'appareil. Le tube qui forme le prolongement de la rotule du tender pénètre dans un presse-étoupes placé à l'extrémité de la rotule de la machine. Le couvercle de ce presse-étoupes est en forme d'entonnoir, afin de faciliter l'entrée du tuyau du tender ; il doit être dirigé en arrière afin que le sable de la voie ne puisse s'y engouffrer quand la machine marche en avant dans le sens ordinaire de son mouvement.

Les rotules sont coûteuses de construction et d'entretien ; M. Polonceau les a remplacées sur quelques machines de Versailles (rive gauche) et d'Orléans par des tuyaux en cuivre, contournés en spirales, dont la forme se prête facilement à tous les mouvements de la machine et du tender sur la voie.

Aujourd'hui on remplace assez généralement ces dispositions par un tuyau en caoutchouc volcanisé, épais, entouré d'une spirale en fil de fer qui l'empêche d'être crevé par la pression intérieure de la vapeur.

Quand la production de vapeur devient assez considérable pour faire lever les soupapes, ce qui arrive surtout en stationnement, on envoie cet excédant de vapeur dans le tender où elle chauffe l'eau d'alimentation. A cet effet, deux tuyaux munis de robinets qui sont à la disposition du mécanicien, partent de la partie supérieure de la boîte à feu et s'assemblent sur le tuyau de raccordement de la machine en R (fig. 460). Ces appareils s'appellent les *tuyaux* et *robinets réchauffeurs*.

Frein. — Le tender porte aussi le frein au moyen duquel le chauffeur modère la vitesse du convoi ou l'arrête complétement. Le frein du tender a subi les mêmes modifications que celui des wagons. Il se composait d'abord d'un seul sabot appliqué au moyen d'un levier sur une roue. On a ensuite em-

ployé un frein à deux sabots ; maintenant on fait usage de freins à quatre sabots qui viennent presser deux à deux chacune des roues du tender aux extrémités d'un même diamètre horizontal. On peut ainsi enrayer simultanément les quatre roues et obtenir comme force retardatrice le frottement de glissement dû au poids total du tender.

Un bon frein de tender doit être prompt et énergique ; on le manœuvre actuellement au moyen de vis à un, deux ou même trois filets, ou au moyen de crémaillères. Ce dernier système nous paraît préférable quand les rapports des engrenages sont convenablement calculés, parce que son action est presque instantanée.

Sur le châssis du tender et derrière la caisse on place un grand coffre qui contient des crics, des pinces, des cordages et autres agrès, au moyen desquels on peut parer immédiatement aux accidents qui peuvent survenir pendant la marche d'un train.

Ordinairement le tender porte encore 3 ou 4 coffres dans lesquels le mécanicien range ses outils, la graisse, l'huile et autres accessoires qu'il doit emporter avec lui.

Depuis quelque temps on supprime les tenders séparés sur les lignes à petit parcours. A cet effet, on place la caisse du tender sur les longerons de la machine prolongés ; puis on modifie la position des roues de cette machine de manière à obtenir une répartition convenable du poids sur les essieux.

On loge également des caisses à eau sur la chaudière, ou sous cette chaudière entre les essieux, ou enfin sous la plate-forme qui règne autour de la machine. (Nous avons donné précédemment plusieurs dispositions de ces *machines-tender*.)

Quand les rayons des courbes et la force des rails permettent d'adopter cette disposition, elle est très-convenable. Elle supprime, en effet, la portion notable du poids mort représentée par le châssis et les roues et essieux du tender,

ainsi que les appareils si compliqués de raccordement des prises d'eau et d'attelage.

DESCRIPTION DES MACHINES DE L'EXPOSITION ET COUP D'OEIL SUR LES PROGRÈS FAITS ET A FAIRE DANS LA CONSTRUCTION DES LOCOMOTIVES.

Les machines admises à l'Exposition nous offrent l'exemple de presque tous les systèmes en usage depuis l'ancienne machine Stephenson jusqu'aux machines Crampton et Engerth.

Les cylindres intérieurs, l'essieu coudé et le châssis extérieur des machines de Sharp Roberts employées, il y a près de vingt ans, ont été conservés dans une machine à marchandises de l'un de nos plus habiles constructeurs, M. Polonceau.

M. Robert Stephenson, qui le premier avait adopté les cylindres extérieurs et le châssis intérieur, revenant à son système primitif, a exposé une machine à voyageurs avec cylindres intérieurs et châssis extérieur, comme les machines Polonceau.

On remarque comme un des modèles les mieux combinés de machines Crampton une machine qui a été fabriquée par MM. Derosne et Cail, il y a déjà six ans, et qui depuis lors a parcouru 40 000 kilomètres environ chaque année sans entrer en grande réparation.

Sur les chemins badois, on emploie pour les trains à grande vitesse le modèle Crampton, mais ces machines diffèrent des machines françaises en ce qu'on y a rendu l'avant-train mobile, comme dans les machines américaines. Elles passent dans des courbes de 260 mètres de rayon et marchent à la vitesse moyenne de 65 kilomètres par heure.

On voit encore à l'Exposition plusieurs machines Engerth, avec ou sans engrenage. Celles qui sortent des ateliers de Cockerill, en Belgique, portent un engrenage qui met en relation le premier essieu du tender seulement avec le dernier de la machine, tandis que les machines Engerth fabriquées au Creusot, dépourvues d'engrenage, ont été seulement combinées de manière à reporter le poids d'une machine lourde et

puissante et de son tender sur trois essieux à peu près uniformément.

En adoptant l'engrenage, on augmente l'adhérence de telle façon qu'on ne saurait hésiter à profiter de toute la facilité que donne la disposition Engerth pour augmenter la surface de chauffe, et par conséquent la puissance de la machine jusqu'à ses dernières limites. C'est ainsi que dans les machines de Seraing la surface de chauffe par rayonnement est d'environ 10 $\frac{1}{2}$ mètres carrés, tandis qu'elle ne peut guère dépasser 8 mètres dans les machines du système Polonceau, et que la surface totale est de 212 mètres carrés.

Les machines à engrenage sont donc propres à remorquer d'énormes charges sur de faibles pentes, ou à remonter de fortes pentes avec des charges raisonnables, et elles ont sur les machines Polonceau l'avantage de passer dans des courbes de très-petit rayon. L'accroissement de l'adhérence par l'accouplement du tender est surtout nécessaire sur les rampes très-inclinées, non-seulement parce que sur ces rampes la résistance est considérable, mais encore parce que l'adhérence produite par le poids de la machine n'est plus alors que celle de la composante de ce poids perpendiculaire au plan incliné, composante sensiblement inférieure au poids sur les rampes de 2 $\frac{1}{2}$ à 3 centièmes.

Dans les machines Engerth sans engrenage, on augmenterait inutilement les dimensions de la machine en adoptant des surfaces de chauffe égales à celles des machines de Seraing. L'adhérence serait insuffisante pour permettre d'employer la force développée. Aussi la surface de chauffe des machines du Creusot n'est-elle que de 161 mètres carrés dont $9^{m},75$ de surface par rayonnement; mais cette surface est encore plus grande que celle des anciennes machines à marchandises, et on lui a donné ces dimensions sans surcharger les essieux de la machine en reportant une partie du poids du foyer sur le tender. M. Polonceau, en construisant la machine à marchandises qu'il a exposée, s'est proposé, comme les auteurs

de la machine Engerth du Creusot, d'obtenir une grande surface de chauffe tout en répartissant la charge uniformément ou à peu près sur les trois essieux. La surface de chauffe de sa machine n'est à la vérité que de 134 mètres carrés dont 8 mètres environ de surface par rayonnement, mais les tubes étant plus courts dans la machine Polonceau que dans la machine Engerth (4 mètres de longueur au lieu de $4^{m},75$), une certaine surface de chauffe tubulaire de la machine Polonceau produira plus de vapeur que la surface tubulaire correspondante de la machine Engerth, et la hauteur de la cheminée ($1^{m},80$), dans la machine Polonceau, étant supérieure à celle de la machine du Creusot, on peut activer le tirage de telle façon, que la production de vapeur des deux machines ne différerait pas très-sensiblement malgré la différence des surfaces de chauffe. C'est du moins ce qu'affirme M. Polonceau et ce qu'il cherche à démontrer en s'appuyant sur ce fait, que les cheminées des machines du chemin d'Orléans ayant été coupées pour faire passer ces machines sous les ponts du chemin d'Orléans à Bordeaux, leur production de vapeur a immédiatement diminué sensiblement. Des expériences nouvelles contribueront sans doute à mieux constater l'influence de la hauteur de la cheminée sur le tirage. M. Polonceau assure aussi qu'en augmentant le diamètre du corps cylindrique de la chaudière et la longueur du foyer, il obtiendrait une surface de chauffe de 200 mètres carrés, et il a bien voulu nous communiquer les études d'une machine dans laquelle il avait atteint la surface de chauffe de la machine Engerth du Creusot, soit 160 mètres, tout en restant dans d'excellentes conditions de travail [1].

La machine Polonceau est plus légère que celle du Creusot.

1. On construit en ce moment pour le chemin Grand-Central des machines à marchandises de l'ancien système avec une surface de chauffe de 135 mètres carrés, les roues ayant $1^{m}.30$ de diamètre et l'écartement des essieux étant de $3^{m},37$ seulement, et on aurait constaté, suivant M. Couche, dans la discussion d'un projet à l'étude au chemin de Lyon, qu'on peut, sans forcer aucun des éléments eu égard au tracé et à la solidité de la voie, porter la surface de chauffe à plus de 150 mètres carrés.

Elle ne pèse que 30 tonnes 93 chargée d'eau et de coke, tandis que la dernière en pèse 36 (tender non compris). Dans les deux machines on utilise l'adhérence produite par le poids total. Si donc les deux machines développaient la même puissance, la machine Polonceau manquerait d'adhérence ou la machine du Creusot en aurait un excès. Ce serait la dernière supposition qu'il faudrait admettre s'il était bien constaté que, dans le système Polonceau, la surface de chauffe peut être portée à 200 mètres sans que le poids total de la machine dépasse 34 t. 30, que la charge sur chaque paire de roues dépasse 11 tonnes, et que l'adhérence devienne insuffisante pour utiliser toute la puissance. Mais les assertions de M. Polonceau demandent à être vérifiées par la pratique, et nous faisons des vœux pour qu'il soit fait des expériences comparatives dans le but de déterminer les quantités de vapeur produites, et les charges traînées à vitesses égales par la machine du Creusot, et par les machines les plus puissantes construites dans le système Polonceau. A égalité de travail développé, la machine Polonceau étant moins coûteuse de construction et fatiguant moins les rails, serait incontestablement préférable, en tant que les courbes ne seraient pas de petit rayon. Dans le cas contraire, la machine du Creusot, dont les essieux extrêmes sont moins écartés, serait seule admissible.

On est en ce moment sur le point d'exécuter au Creusot une machine Engerth, dont la disposition répondrait à une partie des objections que nous avons faites à la locomotive exposée par cet établissement.

Dans le modèle du Creusot la machine proprement dite est portée sur quatre paires de roues unies par des bielles, et le foyer en arrière de la dernière paire repose en partie sur le tender. Ce dernier est porté par deux paires de roues. Un appareil de rotation à cheville, semblable à celui des machines Engerth, est placé entre la première paire de roues du tender et la dernière de la machine. L'engrenage est supprimé. Le poids total adhérent est de 46 tonnes, les roues ont $1^{m},25$ de

diamètre, et l'écartement des essieux extrêmes de la machine ne dépasse pas 3m,95. On a cherché à résoudre dans la construction de cette machine le problème d'une machine en même temps très-puissante et très-adhérente.

Cette nouvelle machine réunirait en effet ces deux qualités, mais elle ne passerait pas dans des courbes d'aussi petit rayon que les machines à engrenage.

La société du chemin de fer Victor-Emmanuel a exposé pour le service des rampes très-inclinées un système de machine essentiellement différent du système Engerth, celui qui consiste dans l'accouplement de deux machines-tenders à quatre roues attelées dos à dos. On peut ainsi conduire deux locomotives avec un seul mécanicien et un seul chauffeur. C'est le principal mérite de cette disposition, car il faut remarquer qu'une seule machine Engerth les égale au moins toutes les deux en puissance et en adhérence. Il peut donc paraître douteux qu'il y ait un grand avantage à adopter ce système pour le passage des fortes rampes.

Ce qu'il faut encore signaler comme un des traits saillants des machines exposées en 1855, c'est la perfection de l'exécution et surtout l'emploi qui a été fait, dans plusieurs modèles, de l'acier fondu pour la confection de leurs principales pièces. On admire surtout la légèreté des bielles, tiges de piston, etc., d'une excellente machine sortie des ateliers de M. Borsig, à Berlin.

Deux ingénieurs français, MM. Blavier et Larpent, ont exposé une machine dans laquelle les roues du milieu ont jusqu'à 2m,85 de diamètre, et qu'ils proposent pour traîner les trains de marchandises à petite vitesse, aussi bien que des trains de voyageurs à des vitesses considérables. Nous regardons le problème qu'ils se sont proposé comme d'une solution impossible. Il en est des moteurs inanimés comme des moteurs animés. De même que le cheval de trait est impropre à la course, de même une machine ne peut en même temps remorquer dans de bonnes conditions de lourds convois de marchandises et de

légers convois de voyageurs. La machine de MM. Blavier et Larpent est trop faible pour le service des marchandises, puisqu'elle ne traîne que 250 tonnes de poids utiles, tandis que la machine Engerth traîne 450 tonnes, et elle est inférieure à la machine Crampton pour le service de la grande vitesse.

M. Mac Connell, ingénieur-directeur de la traction au chemin de fer anglais London and North-Western, a exposé une machine qui présente des dispositions particulières pour brûler de la houille. Le foyer est séparé du corps tubulaire par une chambre dans laquelle on fait arriver un courant d'air non brûlé afin de compléter la combustion des produits du foyer. Cette disposition n'est pas nouvelle ; elle a été employée pour les machines fixes, et on a trouvé que si elle paraissait obtenir quelque succès pour certaines qualités de charbon, elle ne produisait qu'une combustion incomplète pour d'autres qualités.

M. Arnoux, dans le matériel articulé qu'il emploie sur le chemin de Sceaux, fait usage de machines locomotives à essieux convergents qui ne permettent pas d'utiliser la totalité de l'adhérence de la machine et par conséquent de développer une grande puissance. C'est pour obvier à ce grave inconvénient, dont on a fait un reproche à son système, qu'il a étudié la locomotive que nous allons décrire.

Cette machine est caractérisée par l'emploi de quatre roues conjuguées égales de diamètre, très-rapprochées et presque en contact, portées par des essieux parallèles. Des roues porteuses placées à l'avant et à l'arrière n'ont plus que la mission de diriger la machine au moyen de galets directeurs. Chacune des quatre roues conjuguées est fixée à un essieu distinct, ou en d'autres termes, M. Arnoux a rendu indépendantes les deux roues d'un même essieu en coupant cet essieu en deux parties par le milieu. Les deux roues de droite sont couplées et leur mouvement est indépendant de celui des deux roues de gauche, également couplées.

On aurait pu se contenter peut-être d'un seul cylindre pour



imprimer le mouvement à un demi-essieu ; la machine une fois en marche eût fait fonction de volant ; mais les manivelles se trouvant accidentellement toutes les deux en point mort en même temps, le démarrage eût été difficile. M. Arnoux a préféré employer deux cylindres pour chaque demi-essieu, ce qui fait pour la machine entière quatre cylindres.

L'idée qui a conduit à l'exécution de cette locomotive est incontestablement fort ingénieuse, comme toutes celles de M. Arnoux ; mais l'on peut reprocher à cette machine sa grande complication, son poids considérable et sa faible surface de chauffe. Si l'on réfléchit toutefois que, perfectionnée, elle peut fournir la solution d'un problème important, on comprendra que l'on ne pouvait se prononcer sur son véritable mérite avant de l'avoir soumise à de nombreuses expériences.

On essaye depuis quelque temps avec succès aux chemins de fer de l'Est un appareil ayant pour objet la combustion complète des gaz de la houille, appareil de l'invention de M. Dumery. Nous en reproduirons la description donnée par M. Dumery lui-même à la Société des ingénieurs civils. Nous donnerons aussi la description de la grille de MM. Chobrzynsky et Marsillon.

Nous venons de jeter un coup d'œil rapide sur les machines qui figurent à l'Exposition de 1855. Nous allons maintenant donner quelques détails sur certaines machines, ils ne seront pas sans intérêt pour le lecteur.

Machine à marchandises Polonceau. — Cette machine se distingue par les avantages suivants :

1° Abord facile de toutes les pièces du mécanisme pour la visite, le nettoyage et l'entretien ;

2° Augmentation des surfaces de frottement obtenue par suite de l'espace réservé à chacune des pièces, et par conséquent diminution de l'usé ;

3° Abaissement du centre de gravité de la chaudière et allongement de la cheminée ;

4° Diminution des frais d'entretien et de réparation.

Cette machine étant, selon nous, l'une des plus remarquables de l'Exposition, non-seulement par l'ensemble de ses dispositions, mais encore par le soin apporté dans les détails d'exécution, nous en donnerons une description complète :

Les cylindres sont fixés entre eux de la manière la plus invariable, ce qui assure le parallélisme de leurs axes et leur donne une grande stabilité; ils sont en outre pris dans les plaques d'avant et d'arrière de la boîte à fumée et y sont solidement boulonnés; de plus, ils sont reliés aux deux bâtis par les larges surfaces des boîtes à tiroirs, et sont ajustés dans la fourche formée par l'avant de ces mêmes bâtis. Enfin, ils sont montés sur la plaque d'enveloppe de la boîte à fumée. Les longerons et les plaques verticales sont liés invariablement : 1° par le prolongement de ces plaques jusqu'au bâti; 2° par une plaque de tôle horizontale sous les cylindres; 3° par des plaques horizontales au-dessus du bâti; 4° enfin par les cylindres eux-mêmes.

Tout mouvement des cylindres ainsi que des bâtis, par rapport aux cylindres, est donc impossible, et de plus les cylindres eux-mêmes, fermant le fond de la boîte à fumée, sont moins exposés au refroidissement, et évitent le remplacement fréquent du fond de cette boîte, qui entraîne une grande réparation. Les bâtis sont tous à dilatation libre.

Le mode d'entretien des plaques de garde donne une grande solidité au bâti et permet un démontage facile des boîtes à graisse. Les barres d'écartement des plaques de garde ne vont que d'une plaque à l'autre et y sont rivées.

La coulisse est renversée et à suspension fixe.

Le serrage par des coins de grande largeur ne produit pas le mattage des surfaces et la casse des coussinets, il exige peu de place pour le passage en dessus et en dessous des bielles.

Les robinets sont dans le système des cônes obturateurs.

La pression est de huit atmosphères, ce qui permet le développement d'une grande puissance avec des machines légères.

Un paravent placé dans le haut de la cheminée est destiné à empêcher le rétrécissement de la colonne d'air chaud au sortir de la cheminée, par suite de l'inflexion brusque que lui fait prendre la vitesse de la marche. Ce paravent, non-seulement empêche l'effet nuisible que nous indiquons, mais encore il forme un appel par suite du déplacement de l'air qu'il rencontre. Son effet sur le tirage est très-sensible.

Cinq de ces machines, construites en 1850, ayant parcouru ensemble 673 000 kilomètres, n'ont coûté, en moyenne, pour frais d'entretien et de réparation, que 0,96 par kilomètre.

Elles ont pour dimensions principales :

Surface de chauffe du foyer		7m.c.	914
— — des tubes		126	225
		134m.c.	139
Surface de grille		1	210
Cylindres.	Diamètre	0	420
	Course	0	650
Roues, diamètre		1	370
Volume d'eau dans la chaudière		3	420
Volume de vapeur		1	530
Volume engendré par coup de piston		0	001
Cheminée.	Hauteur	1	800
	Diamètre	0	420
Poids de la machine vide		26	385
d° chargée d'eau et de coke		30	933
Charge sur les rails par pièce, poids reconnu à la balance	Avant	10	184
	Milieu	10	162
	Arrière	10	184

62 machines à marchandises avec une roue à l'arrière du foyer, et 3 mixtes de ce système, sont en service sur la ligne

d'Orléans, 11 mixtes et 56 à marchandises du modèle exposé sont commandées et en construction.

Machine à voyageurs Polonceau. — La machine à voyageurs se rapporte au type Buddicom. Dans la machine exposée, les cylindres ont été placés horizontalement pour éviter l'action de balancement que produisent les cylindres inclinés et les tiroirs sont verticaux, afin d'y adapter le mouvement direct par la coulisse de distribution.

Les cylindres attachés aux deux bâtis présentent, par suite de l'écartement de leur double attache, une grande stabilité, et ils peuvent se démonter aussi facilement que ceux d'une machine à cylindres extérieurs.

Le mouvement de distribution opéré avec la coulisse renversée présente beaucoup plus de régularité et permet d'arriver à une plus grande détente et à une meilleure distribution que celui avec la coulisse dont la concavité est tournée vers les excentriques. L'axe de la coulisse, maintenu entre deux guides fixes, n'a qu'un mouvement horizontal qui détruit les perturbations.

Pour ce qui est de la chaudière, le cercle du corps cylindrique est de plus petit diamètre que celui de l'enveloppe du foyer, afin d'éviter les épaisseurs de tôle tout à fait inutiles.

La robinetterie et autres détails de la machine sont tout semblables à ceux de la machine à marchandises.

La consommation en combustible est de $5^{k},30$ par kilomètre, avec des trains dont la charge moyenne était de 70 tonnes. Elle est le résultat d'une marche de 16 600 kilomètres. Cette quantité comprend tout le coke employé pour allumage et celui consommé dans les stationnements d'un service ordinaire.

Ces machines sont entièrement exemptes de mouvement de lacet, même à des vitesses soutenues de 80 kilomètres à l'heure.

La vitesse moyenne parcourue par les trains omnibus entre les stations a été de.	$45^{kil.}$
Celle des trains express de.	60

Les dimensions principales de ces machines sont les suivantes :

Longueur du foyer.	1^m,100
Largeur du foyer.	1 ,000
Surface de la grille.	1 ,100
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille.	1 ,265
Diamètre intérieur du corps cylindrique.	1 ,150
Nombre des tubes.	182
Longueur des tubes.	3 ,325
Diamètre intérieur.	0 ,038
Surface de chauffe directe du foyer. . .	5 ,788 } 87,488
— des tubes.	81,700 }
Pression absolue dans la chaudière. . .	8 atm.
Diamètre des cylindres.	0^m,400
Course des pistons.	0 ,600
Diamètre des roues { essieu d'avant. .	1 ,247
Diamètre des roues { *id.* moteur. .	2 ,027
Diamètre des roues { *id.* d'arrière. .	1 ,247
Entre-axe de l'essieu d'avant à l'essieu moteur.	1 ,940
Idem moteur d° d'arrière. .	2 ,380
Idem des essieux extrêmes. .	4 ,320
Longueur totale de tampons en tampons.	7 ,085
Volume d'eau dans la chaudière. . . .	2 ,425
Volume de vapeur.	1 ,043
Poids de la machine vide.	21,831 kil.
Idem avec 150 millimètres d'eau au-dessus du ciel. . .	25,110

Répartition du poids de la machine sur les rails avec 150 pour 100 d'eau au-dessus du ciel du foyer et 250 kilog. de coke dans le foyer :

Essieu d'avant.	9,090 kil.
— moteur.	12,530
— d'arrière.	3,490

Machine Engerth, à engrenage, de Seraing.—Dans cette machine, l'essieu de devant d'un tender à six roues est seul accouplé par un engrenage avec l'essieu de derrière de la machine, essieu rendu solidaire avec ceux de devant par un système de bielles. La grille est une grille à échelon dans le système Chobrzynsky et Marsillon, propre à la combustion de la houille en nature. La charge traînée doit être de 450 tonnes de poids utile.

Les dimensions principales de cette machine sont les suivantes :

Diamètre des cylindres.		0m.	500
Course des pistons.		0	660
Diamètre des quatre paires de roues motrices.		1	258
Écartement extrême des trois premiers essieux		2	600
Écartement des trois essieux du tender. .		3	445
Distance du 3e au 4e essieu		1	325
Écartement total de l'essieu d'avant à l'essieu d'arrière		7	370
Capacité du tender.	Eau.	8m.c.	06
	Coke	5	
Poids de la machine vide.		50 ton.	
— à charge complète		64	
Nombre des tubes.		234	
Diamètre extérieur des tubes.		0m.	055
Longueur des tubes		5	000
Surface de chauffe	des tubes	202m.c.	00
	du foyer.	10	44
	Total.	212	50
Tension absolue de la vapeur. . .		7 atmos.	

Cinquante machines ont été commandées sur ce modèle. Celle qui a figuré à l'Exposition a fait, pendant plusieurs jours, un service régulier, avec cette charge, de Douai à Amiens,

en remontant des pentes de 5 millièmes sur une grande étendue. Dans un voyage d'essai, de Paris à Pontoise, elle a remorqué, sur cette distance de 28 kilomètres, en 1 heure 5 minutes à l'aller et 1 heure 2 minutes au retour, 46 wagons de houille et de coke présentant un poids brut de 670 tonnes et un poids mort de 482 tonnes. La vitesse s'accélérait au delà de 25 kilomètres à l'heure en remontant une pente de 4 millimètres.

Les ressorts, les tiges de piston, les roues d'engrenage, les glissières de support du foyer sous le châssis du tender, le pivot d'accouplement du train mobile, les boutons et la contre-manivelle des roues motrices sont en acier fondu. Les pièces du mécanisme de distribution, les glissières du piston, les bielles et les bandages des roues sont en acier corroyé. Les boîtes à graisse et toutes les parties frottantes qui ne sont pas en acier sont trempées au paquet.

Cette machine présente donc un spécimen complet de l'emploi de l'acier dans la construction des locomotives.

L'engrenage des machines Engerth fonctionne d'une manière assez satisfaisante pour qu'on en soit arrivé, en Allemagne, à essayer, dans sa construction, la substitution de la fonte moulée en coquille à l'acier fondu.

La première machine Engerth a paru sur le Sommering à la fin de 1853. En ce moment, 444 de ces machines sont commandées par différentes compagnies allemandes et françaises.

Machine Engerth, sans engrenage, fabriquée au Creusot. — Dans cette machine, les caisses à eau placées sur les deux côtés du corps cylindrique de la chaudière ont été supprimées, et l'approvisionnement d'eau a été reporté sur le tender, qui a reçu trois essieux, les deux premiers supportant, comme d'habitude, le foyer.

Les dimensions de cette machine sont les suivantes :

Diamètre des cylindres	0m.c.480
Course des pistons.	0 640
Diamètre des roues motrices.	1 300

Ecartement des essieux extrêmes sous la machine	2m.c.	780
Ecartement des essieux extrêmes sous le tender.	4	000
Distance du premier essieu de la machine au dernier essieu du tender.	8	070
Charge sur les essieux moteurs. { Avant .	12	000
Charge sur les essieux moteurs. { Milieu .	12	000
Charge sur les essieux moteurs. { Arrière.	12	000
Charge totale pour l'adhérence	36	000
Charge totale sur les essieux du tender.	26	100
Poids total de la machine en service .	62	100
Nombre des tubes	203	
Longueur des tubes	4	75
Diamètre extérieur.	0	055
Surface de chauffe { des tubes.	151	380
Surface de chauffe { du foyer	9	750
Total.	161	130
Capacité du tender. { Eau	6800	litres.
Capacité du tender. { Coke	1500	kilog.
Tension absolue de la vapeur	8 atm.	

Machines sans engrenage et à quatre paires de roues couplées. — Un certain nombre de ces machines, dans le système Engerth modifié, ont été commandées pour les chemins de fer du Nord et de l'Est. Elles ont les dimensions suivantes :

Longueur de la grille.	1m.	440
Largeur	1	350
Surface.	1m²	944
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille	1m.	660
Diamètre intérieur du corps cylindrique. .	1m.	500
Nombre des tubes.		235
Longueur des tubes.	5m.	000



Diamètre intérieur	0m· 056
Surface de chauffe directe du foyer. . .	9m. 708
— des tubes.	186 688
Surface de chauffe totale	196m²·396
Boîte à fumée. Longueur intérieure. . .	0m. 800
— Largeur transversale . .	1 510
— Hauteur	1 140
Capacité	1m.3·080
Cheminée. Hauteur au-dessus de la boîte à fumée.	1m. 415
— Hauteur totale au-dessus de la cloison.	1m. 795
Diamètre des cylindres	0m. 500
Course des pistons	0 660
Course des tiroirs.	0 140
Diamètre des roues	1 260
Écartement intérieur des roues, 1re, 2e, 3e et 4e paires	1 356
— motrices	1 366
— des essieux extrêmes	3 950
— de l'essieu d'avant au 2e essieu	1 300
— du 2e essieu au 3e.	1 300
Volume d'eau dans la chaudière	4m.3855
— de vapeur.	2m.3·055
Capacité totale de la chaudière	6m. 910
Poids de la machine vide, tender compris .	50 000 kil.
— avec la charge . . .	64 500
— sur l'essieu d'avant	12 000
— sur le 2e essieu	12 000
— sur le 3e moteur	12 000
— sur le 4e essieu	10 000
Tender. Volume d'eau complet.	8m.3·200

— Poids du coke	1800 kil
— Poids complet.	8000
Écartement des essieux	1m. 700
— du 1er essieu du tender au derrière de machine	3 050
Diamètre des roues	1 060

Machines attelées dos à dos, du chemin Victor-Emmanuel. — Le type de ces machines est imité de celui que les ingénieurs piémontais ont introduit sur les plans inclinés du chemin de Turin à Gênes.

M. Meyer, ingénieur en chef du chemin Victor-Emmanuel, en introduisant plusieurs améliorations importantes dans la construction de ces machines, s'est appliqué à les rendre indépendantes à volonté, afin qu'on puisse les employer, soit seules, soit accouplées, suivant le poids des trains, l'état des rails et l'inclinaison du chemin qui s'élève souvent à 26 millièmes, et dans quelques cas à 30 millièmes.

Le poids total des deux machines est d'environ 48 tonnes, qui profitent entièrement à l'adhérence et qui se répartissent également sur les roues. Chaque machine est armée d'un frein Laignel.

Leurs dimensions principales sont telles que l'indique le tableau suivant :

Diamètre des cylindres		0m. 415	
Course du piston		0 600	
Tension absolue de la vapeur.		9 atm.	
Diamètre des roues.		1m. 200	
Écartement des essieux		2 600	
Surface de chauffe	du foyer .	7m.c.74	
	des tubes.	71 62	
	Total. . .	79 36	
Surface de chauffe de l'ensemble des deux machines			158 72
Réservoir d'eau			7
Volume du coke.			4

Machine Crampton de M. Kessler. — Cette machine remorque une charge brute moyenne de 62 $\frac{1}{2}$ tonnes, non compris le poids du tender.

Sa vitesse moyenne est de 64 kilomètres par heure, sa consommation en combustible est de 43 kilogr. de coke par mille géographique (23 kilogr. par kilomètre).

Elle a traîné, à la vitesse de 64 kilomètres, une charge de 73 tonnes.

Les deux roues motrices de 7 pieds ($2^m,20$) de diamètre sont en fer forgé et placées derrière la boîte à feu.

L'avant-train mobile est placé sur deux paires de roues de 4 pieds ($1^m,25$) de diamètre. Son mouvement est limité par des chaînes dont la longueur est réglée sur les plus grandes courbes du chemin de fer. Les essieux de l'avant-train sont en acier fondu.

L'écartement des essieux extrêmes est de 14 pieds 4 pouces ($4^m,50$).

Les châssis sont placés en dehors des roues motrices. Les roues motrices peuvent être déplacées et replacées sans lever la machine.

Les cylindres ont 16 pouces ($0^m,43$) de diamètre et sont placés à la proximité du centre de gravité de la machine.

La course du piston est de 22 pouces ($0^m,57$).

La chaudière est garnie de 214 tubes de 10 pieds ($3^m,14$) de longueur et de 1 $\frac{5}{8}$ pouce ($0^m,51$) d'épaisseur ; la surface de chauffe est de 1000 pieds carrés (90 mètres).

Une petite machine à vapeur sert à alimenter la chaudière lorsque la machine est au repos. Le poids de la machine remplie d'eau est de 29 $\frac{1}{2}$ tonnes ; il se partage comme suit :

Sur l'essieu moteur.	13 $\frac{1}{2}$ tonnes.
— l'avant-train.	16

Ces 16 tonnes sont réparties par moitié sur chacun des deux essieux de l'avant-train.

Le chemin de fer badois possède 9 de ces machines.

CHAPITRE XIII.

CALCUL DES RÉSISTANCES AU MOUVEMENT DES WAGONS SUR LES CHEMINS DE FER.

Nous avons eu déjà l'occasion de parler des résistances que le moteur éprouve pour remorquer les wagons sur les chemins de fer. L'étude analytique et numérique de ces forces est du plus grand intérêt pour l'ingénieur; elle sert de base à tous les calculs qu'il entreprend dans le but de déterminer autant que possible l'influence qu'exercent, sur les frais d'exploitation, le tracé et le profil de la voie et le mode de construction du matériel roulant; elle lui permet de déterminer d'avance, au moins par approximation, les résultats qu'il obtiendrait en apportant certaines modifications à ce matériel ou à ses moteurs.

Quand un wagon se meut sur une portion de voie droite et de niveau, les résistances normales qu'il éprouve sont de trois espèces, savoir :

1° Le frottement des fusées qui tournent dans les boîtes à graisse.

2° Le frottement des roues qui se meuvent sur les rails, frottement dû à une déformation imperceptible des roues et des rails.

3° La résistance qu'oppose l'air au mouvement des wagons.

Indépendamment de ces résistances normales il éprouve des résistances accidentelles, telles que celles dues à l'action du vent, aux inégalités de la voie, etc.

Les premières peuvent être seules soumises au calcul.

DÉTERMINATION DES RÉSISTANCES NORMALES.

Résistance en plaine et en ligne droite. — Le mouvement de translation du wagon sur la voie donne lieu à un mouvement de rotation des roues et essieux.

Chaque élément superficiel des fusées se trouve successivement et d'une manière continue en contact avec un même élément des coussinets ; il y a donc glissement des fusées sur les coussinets et, par conséquent, frottement.

Le frottement de glissement est proportionnel à la pression ; il varie avec la nature et l'état des surfaces et avec l'enduit ; mais il est indépendant de l'étendue de ces surfaces et de la vitesse[1].

Soit donc :

P la pression exercée par les coussinets sur les fusées, ou, autrement dit, le poids du wagon et de sa charge, moins celui des roues et essieux.

f le coefficient de frottement, c'est-à-dire le rapport du frottement à la pression (rapport qui variera avec la matière dont sont composés les fusées et les coussinets, avec le fini de leur exécution et le mode de graissage);

Le frottement des fusées contre les coussinets sera :

$$fP.$$

Soit R le rayon des roues ;
r » des fusées ;

Pour un tour de roues le wagon parcourra sur les rails un espace $= 2\pi R$. Chaque point des fusées sur les coussinets un autre espace $= 2\pi r$.

Tandis que le wagon parcourra un espace $= 1$, les fusées glisseront donc d'une quantité $\frac{2\pi r}{2\pi R} = \frac{r}{R}$.

1. Nous verrons plus loin que de nouvelles expériences paraissent établir que le frottement de glissement diminue quand la vitesse augmente.

Le travail du frottement des fusées sera par conséquent pour ce même parcours :

$$fP\frac{r}{R}.$$

Le frottement des roues contre le rail est un frottement de roulement[1], car chaque élément de la jante des roues est mis successivement et d'une manière continue en contact avec un élément différent du rail. — *On admet en général que le frottement de roulement est proportionnel à la pression; qu'il varie avec la nature et l'état des surfaces en contact; mais qu'il est indépendant de l'étendue de ces surfaces et de la vitesse.*

Soit p le poids des roues et essieux, $P+p$ sera la pression totale que les roues exercent sur les rails, f' le coefficient de frottement.

Nous aurons pour l'expression du travail du frottement de roulement pour un parcours égal à l'unité de distance :

$$f'(P+p).$$

La résistance au pourtour des roues varie avec la grandeur de la roue, car on sait que les grandes roues passent plus facilement par-dessus les obstacles que les petites. L'expérience donnera donc des valeurs variables pour f', suivant que les roues seront plus ou moins grandes. Mais les roues des wagons étant toutes de même diamètre ou à peu près, et la résistance au pourtour étant très-faible, f' peut être considéré comme un coefficient constant pour des surfaces de contact semblables.

Lorsqu'un corps se meut dans un fluide indéfini en repos, l'atmosphère, par exemple, il éprouve une résistance de la part de ce fluide.

1. Cette expression est impropre, car la résistance au pourtour de la roue n'est pas réellement un frottement, c'est une résistance semblable à celle que la roue éprouverait pour passer par-dessus un obstacle. Nous conserverons toutefois l'expression de frottement de roulement parce qu'elle est généralement admise.

De nombreuses expériences entreprises pour déterminer les lois et l'intensité de cette résistance ont donné les résultats suivants, que nous empruntons à l'ouvrage de M. de Pambour :

La résistance de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse.

Elle est proportionnelle à la projection de la surface du mobile sur un plan normal à la direction du mouvement.

Elle est d'autant plus faible que le mobile est plus allongé dans le sens du mouvement[1].

Si deux surfaces se masquent exactement, la résistance éprouvée par la surface masquée est égale à une fraction de la résistance supportée par la surface antérieure. — Plus l'espace qui sépare les deux surfaces est faible, plus aussi la résistance exercée sur la surface masquée sera diminuée.

Soit Q la résistance cherchée ;

A la projection de la surface antérieure du corps traversant l'air suivant une direction normale :

V la vitesse du mouvement ;

ε un coefficient variable avec la longueur du corps ;

θ un coefficient constant ;

On admet généralement que la résistance de l'air sera exprimée par la formule suivante :

$$Q = \theta\varepsilon AV^2.$$

1. Cette diminution de la résistance avec la longueur des corps s'explique de la manière suivante :

Supposons une plaque mince se mouvant dans l'atmosphère. L'air, après avoir débordé cette plaque, se précipite immédiatement derrière avec une grande vitesse et, entraînant dans son mouvement une poupe fluide, produit un vide relatif derrière. Mais si le corps en mouvement est un prisme allongé, l'air, en suivant sa paroi latérale, perd d'abord une certaine portion de sa vitesse acquise et par conséquent, après avoir dépassé la face postérieure de ce prisme, il ne se répand plus derrière lui qu'avec une force de plus en plus réduite : d'où résulte qu'il y produit un vide partiel ou une non-pression moins considérable que dans le cas d'une simple surface. Et comme nous avons vu que la résistance définitive éprouvée par un corps en mouvement est la différence entre la pression de l'air en avant et le vide partiel créé en arrière, il s'ensuit que les corps allongés éprouveront définitivement dans l'air une résistance moindre que les corps dont l'épaisseur ne sera que très-faible.

Il en résulte que l'équation qui exprime le travail résistant total, pour l'unité de distance parcourue par un convoi qui se meut en plaine et en ligne droite, est :

$$T = fP\frac{r}{R} + f'(P+p) + 0{,}\varepsilon AV^2.$$

Résistance sur une rampe en ligne droite. — Sur un plan incliné faisant avec l'horizon un angle α, la pesanteur qui sollicite le wagon et qui est toujours verticale, se décompose en deux forces : l'une perpendiculaire au plan, qui constitue la pression des roues sur ce plan; l'autre parallèle aux rails, qui entraînerait le wagon vers le pied de la pente si elle n'était détruite par une force contraire. Si le wagon doit gravir la rampe, le moteur devra faire équilibre, non-seulement au frottement des wagons, mais encore à cette composante de la pesanteur parallèle au plan.

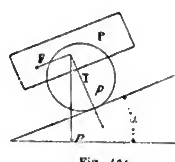


Fig. 461.

En se reportant à la fig. 461, on voit aisément que cette force F est exprimée analytiquement par

$$(P+p)\sin\alpha.$$

On voit de même que la pression des coussinets sur les fusées, pression qui donne lieu au frottement de ces fusées[1], est égale à :

$$P\cos\alpha.$$

Et enfin que la pression exercée par les roues normalement aux rails a pour valeur :

$$(P+p)\cos\alpha.$$

Le travail que le moteur devra exercer sur le wagon pour

1. Le moteur en agissant dans la direction du mouvement sur la fusée produit une nouvelle pression déterminant un nouveau frottement; mais cette pression est tellement faible que généralement on n'en tient pas compte.

que celui-ci conserve la vitesse qu'il possède à un instant donné sera donc, par unité de chemin parcouru :

$$fP\cos\alpha\frac{r}{R}+f'(P+p)\cos\alpha+\theta\varepsilon AV^2+(P+p)\sin\alpha.$$

En général, les inclinaisons que l'on rencontre sur les chemins de fer sont telles que l'on peut considérer $\cos\alpha=1$ [1] et $\sin\alpha=\operatorname{tg}\alpha$; nous avons donc pour expression pratique du travail à exercer par le moteur :

$$fP\frac{r}{R}+f'(P+p)+\theta\varepsilon AV^2+(P+p)\operatorname{tg}\alpha.$$

Si la pente, au lieu d'être descendante, était ascendante, la formule qui exprime le travail de l'effort de traction serait la suivante :

$$fP\frac{r}{R}+f'(P+p)+\theta\varepsilon AV^2-(P+p)\,tg\alpha.$$

Résistance dans les courbes. — Les résistances qu'éprouve un wagon ou un convoi en parcourant une courbe sont de plusieurs espèces et sont dues à différentes causes.

En premier lieu les roues sont généralement de diamètre égal et fixées sur les essieux. Or, soit :

a la demi-largeur de la voie (fig. 462);

ρ le rayon moyen de la courbe;

Les distances parcourues par les deux roues d'un même

1. Bien que sin α soit une quantité très-petite aussi bien que celle dont cos α diffère de l'unité, on ne saurait, comme pourraient le supposer des personnes peu habituées au calcul, la négliger comme cette dernière, car l'erreur commise serait alors beaucoup plus grande. En effet soit $\cos\alpha=1-\beta$ et $\sin\alpha=\delta$. Si on suppose $\cos\alpha=1$, l'erreur commise est de

$$\left\{f\frac{r}{R}P+f'(P+p)\right\}\beta;$$

ou, comme l'ensemble de ces frottements est généralement représenté par le rapport $0{,}003\,(P+p)$, l'erreur est de $0{,}003\,\beta\,(P+p)$, c'est-à-dire des trois millièmes d'une quantité déjà très-petite multipliant le poids du wagon. Sin α étant considéré comme égal à o, l'erreur commise serait de $(P+p)\,\delta$, soit d'une fraction du poids total égale à la petite quantité δ tout entière.

essieu dans le même temps seront entre elles comme les rayons des deux files de rails, soit

$$:: \rho - a : \rho + a.$$

Fig. 462.

Il résulte de cette différence dans les chemins parcourus par les deux roues qu'elles devront glisser; celle qui se trouve sur le rail intérieur le fera de manière à retarder son mouvement, celle du rail extérieur de manière à l'accélérer.

Le centre de figure du wagon parcourant un espace égal à 1, les roues intérieures avanceront de $\frac{\rho - a}{\rho}$, les roues extérieures de $\frac{\rho + a}{\rho}$, le glissement de chacune d'elles sera donc de $= \frac{a}{\rho}$.

Or, les roues exercent sur les rails une pression $= P + p$; si donc nous représentons le coefficient de frottement par f'', nous aurons pour expression du travail résistant résultant de la fixité des roues sur les essieux, pour l'unité de parcours :

$$f''(P + p)\frac{a}{\rho}.$$

Les essieux d'un même wagon sont maintenus parallèles par les plaques de garde.

Les roues, au lieu d'être tangentes aux rails, prennent une direction qui est celle de la corde (fig. 463); par suite les roues de devant tendent à se porter en dehors, celles de derrière à se porter en dedans des rails. Elles ne pourront donc rester sur ceux-ci que par un mouvement de glissement dans le sens du rayon de la courbe. De là un nouveau frottement.

Le glissement tangentiel que nous avons déterminé précédemment, et le glissement suivant le rayon se combinent de

telle sorte que, tandis que le wagon décrit un cercle entier autour du centre O de la courbe, chacun des points de ce wagon décrit également une circonférence entière autour du centre de figure G du rectangle formé par les points de contact des roues et des rails [1]. Le rayon correspondant à ces points de contact est $GA = \sqrt{a^2 + b^2}$, b étant la demi-distance BG des deux essieux.

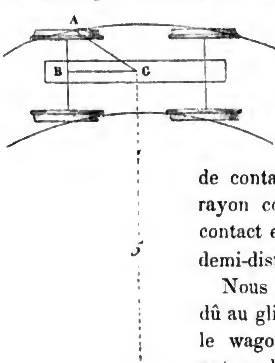


Fig. 463.

Nous aurons donc pour le travail dû au glissement des roues pendant que le wagon fait une révolution entière autour de O :

$$f''(P + p)2\pi\sqrt{a^2 + b^2}.$$

Dans ce même temps, l'espace parcouru par le wagon est $= 2\pi\rho$, donc le *travail résistant qui résulte de la fixité des roues sur les essieux et du parallélisme de ces essieux est, pour l'unité de parcours du wagon, exprimé par la formule :*

$$f''(P + p)\frac{2\pi\sqrt{a^2 + b^2}}{2\pi\rho} = f''(P + p)\frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\rho}.$$

Le mouvement d'un wagon sur une courbe donne lieu à un troisième frottement dont la cause est indépendante du mode de construction des roues et essieux.

En effet, ce mouvement curviligne ne peut avoir lieu si un wagon n'est sollicité à chaque instant par une ou plusieurs forces qui le contraignent à s'écarter de la direction rectiligne que l'inertie tend à lui faire conserver. Ces forces sont les pressions que le rail extérieur de la voie exerce sur les bour-

1. Cela n'est pas mathématiquement exact. Le wagon ne tourne pas toujours autour de son centre de figure ; mais nous pensons que cette supposition peut en pratique être admise sans inconvénient.

relets des roues extérieures ; elles sont dirigées dans le sens du rayon de la courbe, leur expression est :

$$\frac{P+p}{g}\ \frac{V^2}{\rho}.$$

dans laquelle g représente l'accélération due à la pesanteur, accélération égale à $9^m,81$ pour nos latitudes[1].

Ces pressions donnent lieu à un frottement $f''' \frac{P+p}{g}\ \frac{V^2}{\rho}$, f''' étant le coefficient de frottement des bourrelets des roues contre les rails.

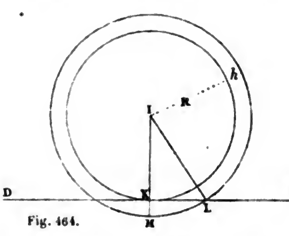


Fig. 464.

Soit $R = IK$ le rayon de la roue (fig. 464.), $h = KM$ la hauteur du rebord, $R + h$ sera la hauteur de la roue et de son rebord, et celui-ci frottera contre le rail DD' au point L où il le touche.

Pendant un instant infiniment petit, on peut considérer le point I et le point L comme tournant autour du point K, par lequel la roue repose sur le rail. Le chemin parcouru par le point L frottant contre le rail sera donc au chemin parcouru par le point I ou par le wagon lui-même, dans le rapport de $KL : IK$, ou de $\sqrt{(R+h)^2 - R^2} : R$, ou enfin de $\sqrt{2Rh + h^2}$: R.

Tandis que le wagon parcourra un espace $= 1$, le point L parcourra un espace $\frac{\sqrt{2R + h^2}}{R}$, et *le travail du frottement dû*

1. Habituellement on explique les phénomènes que nous venons d'énoncer en disant que le mouvement curviligne fait naître une *force centrifuge* qui applique les rebords des roues extérieures contre le rail extérieur de la voie.

Cette manière d'envisager la question n'est pas très-rationnelle ; cependant nous nous servons dans le courant de cet ouvrage de l'expression *force centrifuge* parce qu'elle est adoptée par la plupart des auteurs.

à la force centrifuge sera, pour l'unité de parcours du wagon :

$$f''' \frac{P+p}{g} \frac{V^2}{\rho} \frac{\sqrt{2Rh+h^2}}{R}.$$ [1]

Le travail r ésistant adtionnel résultant du passage d'un convoi dans une courbe est donc, par unité de parcours du convoi :

$$f''(P+p)\frac{\sqrt{a^2+l^2}}{\rho}+f'''\frac{P+p}{g}\frac{V^2}{\rho}\frac{\sqrt{2Rh+h^2}}{R}.$$

Équation générale du travail. — *Le travail total que le moteur devra exercer sur le convoi pendant l'unité de parcours, pour que ce convoi conserve la vitesse qu'il possédait avant l'instant considéré, est égal à la somme des travaux partiels que nous venons de déterminer ; il est donc exprimé par la formule :*

$$T=fP\frac{r}{R}+f'(P+p)+\theta\varepsilon AV^2+(P+p)\,\mathrm{tg}\,\alpha+$$
$$+f''(P+p)\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\rho}+f'''\frac{P+p}{g}\frac{V^2}{\rho}\frac{\sqrt{2Rh+h^2}}{R}.$$

L'effort de traction s'exerce toujours suivant la direction du déplacement du moteur ; on obtiendra donc sa valeur en divisant le travail moteur exercé pendant un certain temps par le chemin parcouru dans ce même temps. Comme nous avons déterminé constamment le travail moteur correspondant à un parcours égal à 1, il est évident *que la valeur en kilogrammes de l'effort de traction sera la même que la valeur en kilogrammètres obtenue au moyen de la formule que nous venons de donner.*

Détermination des coefficients. — Il reste maintenant à établir la valeur des différents coefficients qui entrent dans

1. Nous avons cherché dans ces calculs à indiquer l'effet sensible et le résultat général sans entrer dans des détails qui ouvrent un champ indéfini de doutes et de controverse sans grand profit pour la pratique. Les lecteurs qui voudront approfondir davantage la question pourront consulter des articles fort intéressants publiés dans les *Annales des ponts et chaussées* par MM. Dupuis et Reinhard, et un mémoire lu à l'Institut par M. Wissocq.

cette formule. Coulomb a déterminé depuis longtemps les coefficients de glissement f et f' entre des surfaces métalliques graissées ou non graissées; mais comme il n'a pas opéré exactement dans les conditions où se trouvent les véhicules roulant sur un chemin de fer, on a jugé convenable de les déterminer de nouveau par des expériences faites sur des wagons isolés ou sur des convois.

On a employé pour cela différents procédés.

Quelquefois on a intercalé un dynamomètre à ressorts ou le dynamomètre de M. Morin entre le moteur et les véhicules.

D'autres fois on a abandonné à lui-même un wagon ou un convoi sur un plan incliné, et on a mesuré l'espace qu'il avait parcouru au bout d'un certain temps en descendant par l'effet seul de la gravité; puis on a introduit la valeur de l'espace et du temps dans une formule qui établit une relation entre l'espace, le temps et la force motrice[1]. Cette dernière force étant égale à la composante du poids du wagon ou du convoi diminuée de la résistance totale, on n'a plus dans la formule qu'une seule inconnue, la résistance totale. On la détermine en résolvant l'équation par rapport à cette résistance.

Un troisième moyen, pour déterminer la résistance d'un wagon, consiste à le faire marcher librement sur deux plans, inclinés en sens inverse, qui se raccordent par une courbe. Le wagon remonte le second plan incliné en vertu de la vitesse qu'il a acquise en descendant le premier; mais il s'élève sur le second plan à une hauteur moindre que celle dont il était descendu. La différence des deux hauteurs introduite dans une formule conduit à déterminer l'inconnue[2].

Enfin, on a laissé descendre un train de wagons sur un plan

1. Voir la formule dans le *Traité* de Wood, traduit de l'anglais, par MM. de Montricher, de Ruolz, de Franqueville, et dans la seconde édition du *Traité* de Pambour sur les locomotives.

2. Cette formule est très-simple; il en résulte que le rapport de la résistance à la charge a pour mesure la différence de niveau des points de départ et d'arrivée, divisée par la somme des espaces parcourus sur les deux plans : le calcul qui y conduit est développé dans le *Traité* de Wood, p. 129. (Note de M. Montricher.)

incliné. Le train était mis et entretenu en mouvement par la composante de son poids parallèle au plan; mais la résistance totale, comprenant les frottements, qui sont sensiblement indépendants de la vitesse et de la résistance de l'air, qui varie comme le carré de la vitesse, allait croissant avec la vitesse, jusqu'à ce que devenue égale à la force motrice elle lui fît équilibre. La vitesse cessait alors de croître, et le mouvement devenait uniforme. Notant la vitesse au moment où le mouvement était devenu uniforme, on avait pour la valeur de la résistance à cette vitesse celle de la composante du poids du convoi.

Pour obtenir la résistance à une autre vitesse, on opérait sur un nouveau plan présentant une inclinaison différant de celle du premier, et de cette manière on pouvait déterminer la résistance pour autant de vitesses différentes que de plans diversement inclinés. Cette méthode est fort simple théoriquement, mais il est rare qu'on puisse en faire l'application, à cause de la difficulté qu'on éprouve à rencontrer sur un même point des plans d'une grande longueur, diversement inclinés.

Enfin, pour déterminer isolément le frottement sur les fusées, on a fait reposer les deux fusées d'un même essieu dans des coussinets établis sur deux chevalets. Sur l'essieu, on a monté une poulie et enroulé sur cette poulie une corde portant à une extrémité libre un poids exactement connu. L'expérience avait deux périodes. Dès que le poids cessait d'être retenu, il se mettait en mouvement et faisait tourner l'essieu avec une vitesse qui allait en croissant jusqu'à l'instant où la corde était entièrement déroulée. A ce moment, la corde se détachait spontanément de la poulie et l'essieu continuait à tourner jusqu'à ce que le frottement de ses fusées eût complétement détruit sa puissance vive. Un compteur adapté à l'appareil donnait exactement le nombre de tours faits par l'essieu.

M. Wood, l'un des premiers qui aient essayé de déterminer la résistance des wagons, a employé d'abord le dynamomètre

à ressorts; mais ayant bientôt reconnu l'imperfection de cet instrument, il a cherché la résistance en mesurant l'espace parcouru par le wagon descendant sur un plan incliné. Il a trouvé de cette manière, pour la résistance totale de wagons se mouvant en ligne droite et en plaine, à des vitesses de 16 kilomètres par heure, de 4 à 5 millièmes du poids. Cette résistance, en réalité, n'est pas une fraction exacte de ce poids, car le frottement de glissement sur l'essieu n'est proportionnel qu'au poids P du wagon et de sa charge, moins les roues et les essieux, et la résistance de l'air est indépendante de ce poids; mais aux vitesses auxquelles M. Wood a opéré la résistance de l'air est peu sensible, et on ne commet qu'une erreur négligeable dans la pratique, en admettant que la résistance totale est une fraction du poids total.

Pour déterminer isolément la résistance au pourtour des roues, M. Wood a supprimé la caisse et lancé sur des plans inclinés des essieux isolés qu'il chargeait plus ou moins, au moyen de rondelles de plomb emmanchées sur ces essieux. Il supprimait ainsi le frottement sur les fusées; il rendait insensible la résistance de l'air, et obtenait comme expression de la résistance totale celle de la résistance au pourtour des roues.

Il a trouvé ainsi que *la résistance au pourtour de roues de* $0^m,90$ *de diamètre était à peu près* 0,001 *du poids total.*

En employant la méthode décrite ci-dessus pour déterminer directement la résistance sur les fusées, il a trouvé *que le coefficient du frottement sur les fusées était dans un état moyen des fusées de* 0,05, *et dans des circonstances exceptionnelles, avec un graissage continu parfait, de* 0,017.

En sorte que le rapport du diamètre d des fusées à celui D des roues étant le même que dans les anciens wagons, soit environ 50/1000, on aura pour la résistance sur la fusée :

$$f.\,P\frac{d}{D} = \text{environ } 0{,}0025\,P.$$

Avec le rapport du diamètre des fusées actuelles au dia-

mètre des roues, rapport $=\frac{75}{1000}$, on trouve pour cette résistance

$$f.P.\frac{d}{D}=0,00375P.$$

M. Wood a reconnu aussi que pour que le frottement restât invariable avec la surface du coussinet, il fallait que la surface du coussinet fût telle que la pression par centimètre carré ne dépassât pas 7 kilogrammes. Cette pression étant plus grande, la graisse était écrasée et les surfaces frottantes changeaient de nature.

En partant des expériences précitées faites par M. Wood pour déterminer séparément le frottement sur la fusée et le frottement au pourtour des roues, on trouve pour la résistance totale due au frottement dans les anciens wagons :

$$0,0025P+0,001(P+p) \text{ ou environ } 0,0035(P+p).$$

Et pour la même résistance dans les nouveaux wagons :

$$0,00375P+0,001(P+p).$$

Soit environ :

$$0,00475(P+p).$$

M. Wood a trouvé, par des expériences directes, que la résistance totale dans les anciens wagons, à de petites vitesses, auxquelles la résistance de l'air était peu sensible, est de quatre millièmes du poids total.

M. de Pambour a trouvé pour la somme des frottements dans des wagons à peu près semblables avec des roues de $0^m,915$ et des fusées de $0^m,045$ de diamètre, et déduction faite de la résistance de l'air, le rapport $\frac{1}{373}$, du poids brut, soit

$$0,0026(P+p),$$

valeur sensiblement inférieure à celle indiquée par M. Wood, ce qui tient probablement à un meilleur graissage. Ses expériences ont été faites en 1834, sur le chemin de Liverpool à Manchester.

Pour la résistance totale, MM. Gouin et Lechatelier, en se servant du dynamomètre Morin, ont trouvé avec des wagons se rapprochant beaucoup des wagons actuels, mais dans lesquels cependant les fusées étaient de plus petit diamètre :

A de petites vitesses (*de* 25 *à* 40 *kilomètres par heure*), *de* 3 *à* 4 $\frac{1}{2}$ *millièmes du poids total.*

A des vitesses modérées (40 *à* 60 *kilomètres par heure*), *de* 4 $\frac{1}{2}$ *à* 8 $\frac{1}{2}$ *millièmes.*

On peut supposer qu'à de grandes vitesses (80 *à* 90 *kilomètres par heure*) *elle atteindrait* 12 *à* 15 *millièmes.*

Les expériences de MM. Gouin et Lechatelier ont eu lieu sur le chemin de Versailles (rive droite). Faites au moyen de l'indicateur de Watt, elles avaient pour but principal la détermination de toutes les circonstances de l'emploi de la vapeur dans les machines locomotives[1] ; elles leur ont fourni le moyen de déterminer d'une manière fort exacte la résistance des convois, machine comprise.

Les diagrammes tracés par l'instrument donnaient rigoureusement la valeur du travail exercé par la vapeur sur les pistons; il était donc facile d'en déduire l'effort de traction moyen.

A la suite de ces expériences, les mêmes ingénieurs ont déterminé sur la même ligne et avec le dynamomètre la résistance des trains remorqués, machine non comprise.

MM. Lechatelier, Flachat, Petiet et Polonceau ont résumé ces expériences dans le tableau suivant, que nous extrayons de leur *Guide du mécanicien constructeur et conducteur de locomotives*, ainsi que les conclusions qui le suivent.

1. Nous en donnons plus loin un résumé en rendant compte de l'effet des machines locomotives.

OBJET des EXPÉRIENCES.	NOMBRE des expériences.	VITESSES moyennes en kilomètres à l'heure.	NOMBRE moyen de wagons remorqués.	POIDS du convoi en tonnes.	RÉSISTANCE par tonne en kilogrammes la gravité déduite.	MODE de DÉTERMINATION.
Machine et tender (seuls).	2	kil 28,4	»	tonn. 26,0	kil. 11,63	Indicateur.
Convoi brut (machine et tender compris).	37	42,7	6,86	60,3	10,31	Indicateur.
Train remorqué (machine et tender non compris).	3	38.38	8,0	41,0	4,06	Dynamomètre intercalé entre le tender et la première voiture; temps calme.
	5	49,17	8,0	41,0	6,56	
	3	56,37	5,3	22,0	8,13	
Moyenne. . .	11	48,0	7,3	37,7	6,31	

« Il est à regretter que ces expériences n'aient pu être combinées de manière à donner simultanément les diagrammes de l'indicateur et du dynamomètre, ce qui aurait permis de constater quelle était la fraction totale du travail moteur absorbé par le frottement de la machine comme véhicule, par le frottement de son mécanisme, par le frottement additionnel résultant du travail de la vapeur, et enfin, par la résistance de l'air qu'elle divise en avant du train. On peut admettre pour la résistance brute, à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure, d'un convoi brut de 60 tonnes. . . . . $10^{k},50$

« Pour celle du train remorqué (34 tonnes). . . . $6^{k},25$

« Il reste donc, pour la résistance totale due à la machine et au tender $10^{k},5 \times 60 - 34 \times 6^{k},25 = 417^{k},5$, ou par tonne du poids de l'appareil moteur . . . . $16^{k}.00$

« Si l'on suppose que les frottements et la résistance de la machine, considérée comme véhicule sans son mécanisme, soient égaux à ceux des wagons, la résistance totale produite par le jeu des organes de la machine est égale, pour chaque tonne *du convoi brut*, *à*. 4k,25

« *Pour chaque tonne de l'appareil moteur* (machine et tender) à. . . . . 9 ,75

« Si l'on applique à la détermination de ces résultats les données obtenues sur le chemin d'Orléans pour les machines marchant à vide [1], qui établissent que le frottement d'une machine et de son tender isolés, à la vitesse de 30 kilomètres à l'heure, est de 8 kilogrammes par tonne, on peut en conclure approximativement que cette même résistance, à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure, sera égale à 12 kilogrammes, de telle sorte que sur la résistance de 16 kilogrammes *par tonne du poids de l'appareil moteur*, il resterait pour la part additionnelle due à l'action de la vapeur. 4k,00

« On peut donc, en groupant ces divers résultats, décomposer comme suit la résistance totale que le convoi de 60 tonnes, que nous avons pris pour exemple, éprouve dans son mouvement à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure. »

1° *Résistance du convoi brut, par tonne.*

Résistance due au mouvement des véhicules.. ...	6k,25
— due aux frottements du mécanisme de la machine sans charge..............	2 ,50
— due aux frottements du mécanisme produits par la pression de la vapeur.....	1 ,75
Total......	10k,50

1. Expériences faites sur la machine *Mulhouse*, en 1844, par une commission nommée par M. le ministre des travaux publics ; sur la rampe de 0m,008 par mètre du chemin de Paris à Orléans, à Étampes, les machines à voyageurs revenaient librement sans l'action de la vapeur, par un temps calme, en prenant une vitesse d'environ 30 kilomètres à l'heure.

2° *Résistance de l'appareil moteur, par tonne.*

Résistance due au mouvement du véhicule........	6k,25
— due au frottement du mécanisme sans charge..........................	5,75
— due à la pression de la vapeur..........	4,00
Total......	16k,00

Des expériences entreprises dans le but de déterminer les résistances des trains ont été faites par M. Gooch, sur le chemin à large voie Great-Western. Ces expériences, annexées à la déposition de M. Gooch devant la commission du parlement anglais chargée de l'enquête sur les avantages respectifs de la voie large et de la voie étroite (1848), sont résumées de la manière suivante dans le *Guide du mécanicien*.

« Elles ont été faites au moyen de l'indicateur Watt, placé sur le cylindre de la machine Great-Britain, et d'un dynamomètre à ressorts construit avec beaucoup de soin et placé à l'arrière du tender sur un wagon disposé à cet effet. Les expériences ont été faites sur une partie du chemin parfaitement droite et horizontale, et située au niveau du sol. Le train remorqué se composait de voitures à six roues de première et de deuxième classe, lestées et pesant chacune en totalité 10 tonnes; le wagon du dynamomètre pesait également 10 tonnes et présentait la même section que les autres. Nous rapporterons le résultat de plusieurs séries d'expériences, desquelles M. Gooch a cru pouvoir conclure que les résistances ainsi observées, sur le Great-Western, sont d'environ 20 pour 100 inférieures à celles que l'expérience permet d'admettre pour les chemins de fer à voie étroite. Nous avons calculé, en assimilant la machine et le tender à des véhicules ordinaires, et, en déduisant la part de résistance comme véhicule, établie dans cette hypothèse, la résistance due aux frottements du mécanisme et à la pression de la vapeur sur les pistons, nous

l'avons comparée : 1° au poids de la machine et du tender; 2° au poids du convoi brut; 3° à la résistance totale mesurée par l'indicateur. Les différents résultats, observés et calculés, sont compris dans le tableau suivant :

VITESSES MOYENNES EN KILOMÈTRES à l'heure.	RÉSISTANCE PAR TONNE			RÉSISTANCE ADDITIONNELLE DUE AU MÉCANISME et à la pression de la vapeur		
	du convoi brut (machine et tender compris) par l'indicateur.	du train remorqué par le dynamomètre.	de la machine et du tender.	par tonne du convoi brut.	par tonne du poids de la machine et du tender.	Rapport de la résistance additionnelle à la résistance totale.
Train remorqué, 100 *tonnes.* — *Convoi brut* 150 *tonnes.*						
kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
21,1	4,10	3,43	3,51	0,67	2,00	0,16
32,1	5,11	3,87	7,49	1,24	3,72	0,24
72,4	10,46	7,26	13,96	3,20	9,60	0,30
91,7	12,42	9,94	19,17	2,48	7,44	0,20
92,2	»	10,77	»	»	»	»
98,1	»	10,07	»	»	»	»
Train remorqué, 80 *tonnes.*						
84,6	»	9,42	»	»	»	»
Train remorqué, 50 *tonnes.* — *Convoi brut*, 100 *tonnes.*						
35,5	6,86	4,31	8,75	2,54	5,08	0,37
69,8	9,07	6,65	11,37	2,42	4,84	0,27
39,3	13,84	10,21	17,58	3,63	7,26	0.26
Rapport moyen de la résistance additionnelle à la resistance totale.						0,25

D'après des expériences faites, en 1852, par M. Poirée fils, ingénieur au chemin de Lyon, si la résistance de l'air augmente avec la vitesse, celle due au frottement de glissement décroît avec elle.

De ces expériences faites sur des wagons à frein, dans lesquels le frein était serré de manière à les convertir en véritables traîneaux, M. Poirée a tiré les conclusions suivantes :

» La résistance au glissement des wagons à frein est proportionnelle au poids des wagons. Elle peut varier, suivant l'état des rails du simple au double, soit environ, pour les petites vitesses, de 0,11 à 0,25 du poids remorqué.

« La résistance au glissement des wagons à frein diminue à mesure que la vitesse de marche augmente. Dans les limites de poids et de vitesse usuelles, la diminution de résistance résultant de l'augmentation de la vitesse, est à peu près indépendante du poids des wagons et de l'état des rails; elle peut être représentée par la fonction suivante de la vitesse :

$$25v - 0,35v^2.$$

Et par suite, la résistance des wagons à frein serait donnée par la formule

$$f = kP - 25v + 0,35v^2.$$

P étant le poids du wagon;

k étant un coefficient constant, variable seulement avec l'état des rails. On peut employer approximativement :

$k = 0,13$ pour des rails humides.
$k = 0,30$ pour des rails très-secs.

Les formules ne devant d'ailleurs être appliquées que pour des vitesses comprises entre 5 et 22 mètres par seconde. »

M. Poirée ajoute que la diminution de frottement indiquée par la formule n'est qu'un minimum, car, dit-il, en raison de la discontinuité de la voie, le traîneau éprouve à chaque joint des rails des chocs d'autant plus vifs que la vitesse est plus grande, et ces chocs doivent amener des pertes de force et augmenter le tirage indiqué par les expériences.

Nous emprunterons encore à la seconde édition du *Traité des machines locomotives*, par M. de Pambour, la valeur du coefficient θ, celle de ε, et l'indication de la marche à suivre pour calculer la surface A.

La résistance étant exprimée en kilogrammes, la surface A

en mètres carrés et la vitesse en kilomètres par heure, le coefficient θ est égal à.......................... 0,004823

La valeur de ε pour un corps isolé, très-mince, est.................................... 1,43

Pour un cube.......................... 1,17

Pour un prisme, dont la longueur est égale à trois fois le côté de la surface antérieure........ 1,10

Pour un convoi de 5 wagons.............. 1,07

— de 25 wagons.............. 1,04

— de 15 wagons.............. 1,05

Quant à la surface A, elle se compose de plusieurs éléments qui influent à des degrés différents sur l'intensité de la résistance, dont nous nous occupons. On peut déterminer directement la surface antérieure du wagon, qui se compose de celle du chargement et de celle du wagon lui-même. Mais les rais des roues tournent rapidement, et éprouvent par cela même une certaine résistance ; de plus, les roues, essieux, boîtes à graisse et ressorts d'arrière sont suffisamment séparés des pièces qui les précèdent, pour qu'on ne puisse les considérer comme complétement protégés contre le choc de l'air.

La vitesse de rotation des divers éléments superficiels des rais varie avec la distance de ces éléments à l'essieu; vers la jante, cette vitesse est presque égale à celle du wagon; près de l'essieu elle est très-faible.

En ramenant leur surface totale à celle qui, mue à la circonférence de la roue, éprouverait de la part de l'air une résistance équivalente, M. de Pambour a trouvé que chaque roue de $1^{m},00$ de diamètre, présente à cet égard une surface de $0^{m.2},1162$, soit $0^{m.2},12$. En y ajoutant donc la surface directe offerte par le bandage de la roue, par les boîtes, essieux et ressorts, le même auteur est arrivé à ce résultat, que chaque paire de roues montée équivaut à une surface de $0^{m.2},65$.

Mais dans un train, toutes ces pièces sont masquées par

celles qui les précèdent et sont espacées par un intervalle sensiblement égal au côté de leur carré; il convient donc de réduire aux deux tiers, soit $0^{m},43$ la surface directe opposée au choc de l'air par chaque paire de roues, non compris la première.

Pour un wagon isolé, il faudra adopter pour surface directe choquée par l'air, la surface antérieure de sa caisse, de son châssis et de son chargement, à laquelle il faudra ajouter $0^{m.2},65 + 0^{m.2},43 = 1^{m.2},08$ pour ses roues, essieux, boîtes et ressorts.

Le coefficient ε variera avec la longueur du wagon employé. On peut admettre que cette longueur est égale à deux fois la racine carrée de la surface antérieure; on devra donc, dans les formules précédentes, faire $\varepsilon = 1,13$.

Quand les wagons sont réunis en trains, on devra compter une surface additionnelle de $0^{m.2},43$ par paire de roues ajoutée. Mais, quoique très-rapprochés, les wagons ne sont cependant pas en contact, et chacun d'eux éprouve, sur sa surface antérieure, une résistance que M. Pambour a trouvée égale à celle que produirait une augmentation de $0^{m.2},0929$, soit $0^{m.2},10$, de la surface antérieure du 1er wagon.

M. de Pambour donne enfin la formule suivante, pour un train de 15 wagons, dans laquelle la vitesse est exprimée en kilomètres par heure, et la surface du train, comme nous venons de l'indiquer, en mètres carrés :

$$Q = 0,0050\,64AV^2.$$

Aucune expérience concluante n'a été faite jusqu'à présent pour déterminer les valeurs de f'' et f'''. Nous avons cependant adopté pour f'' le chiffre de 0,16, d'après les expériences sur la valeur moyenne du coefficient du frottement de glissement entre deux surfaces métalliques polies.

Quant à f''', qui est celui du frottement entre deux surfaces rugueuses, il sera plus fort, mais nous ne chercherons pas à l'apprécier.

Substituant enfin, dans la formule générale du travail résistant, sur un chemin de fer incliné et en courbe, les valeurs moyennes que nous avons indiquées pour les coefficients, on trouve :

$$T = 0{,}035\frac{d}{D}P + 0{,}001(P+p) + 0{,}005064AV^2 \pm$$
$$\pm (P+p)\operatorname{tang}\alpha + 0{,}16\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\rho}(P+p) +$$
$$+ f'''\frac{P+p}{g}\frac{1}{\rho}V^2\frac{\sqrt{2Rh+h^2}}{R}.$$

le coefficient f''' étant jusqu'à présent indéterminé.

Discussion de la formule. — On tire de la discussion de cette formule les conclusions suivantes, qui présentent un grand intérêt :

On diminue la résistance en diminuant le diamètre des fusées et en augmentant celui des roues.

Toutefois, il résulte des expériences de M. Wood, précitées, qu'en diminuant outre mesure le diamètre des fusées, on change la nature des surfaces frottantes, de telle façon que le travail augmente au lieu de diminuer.

En général, les wagons actuels ont des roues de $0^m,90$ à 1 mètre. Avec des roues trop grandes on élèverait les caisses de voitures outre mesure au-dessus des rails, à moins de complications dans le mode de construction des véhicules. L'accroissement du diamètre des roues aurait aussi pour inconvénient d'en augmenter le poids, ce qui donnerait lieu à une augmentation de résistance très-faible sur les parties peu inclinées, mais assez sensible sur les fortes pentes.

2° Tous les termes qui composent le second membre de l'équation étant, à l'exception de celui qui représente la résistance de l'air, proportionnels au poids du wagon ou au moins au poids de la caisse, *il est avantageux de rendre le matériel roulant aussi léger que le permettent la prudence et l'économie de l'entretien.*

Nous avons vu que dans ces derniers temps on avait considérablement réduit le poids mort des wagons à marchandises, mais que les exigences du public avaient forcé à augmenter celui des voitures à voyageurs.

Deux résistances, celle de l'air et la résistance occasionnée par le frottement dans les courbes du bourrelet des roues contre la face latérale du rail, étant proportionnelles au carré de la vitesse, *on réduit considérablement la résistance totale, et par suite les frais de traction en diminuant la vitesse. On tire ainsi meilleur parti des machines à de petites vitesses qu'à de grandes.* C'est pourquoi les trains de marchandises pour lesquels une grande vitesse n'est pas absolument nécessaire, comme pour les trains de voyageurs, doivent marcher à la plus petite vitesse compatible avec le service.

Les deux derniers termes de la formule montrent que :

Le passage dans les courbes donne lieu à une augmentation de résistance par unité de distance parcourue d'autant plus sensible que le rayon est plus petit.

On voit de plus que :

Dans tout changement de direction du tracé le travail résistant total, propre au parcours de la partie courbe qui raccorde les deux alignements droits, est indépendant du rayon de courbure ; mais la grandeur de celui-ci n'est pas pour cela tout à fait indifférente dans l'appréciation de la dépense finale de traction, puisque toute réduction du rayon ou du développement de la courbe correspond à un allongement du parcours total ou à un petit surcroît de travail sur l'alignement droit.

En augmentant le rayon des courbes à grands frais on a donc bien moins pour objet de diminuer le travail sur les alignements que de réduire le travail résistant par unité de distance parcourue en courbe, de façon qu'il ne dépasse pas certaines limites dans les circonstances accidentelles les plus défavorables, limites au-dessus desquelles les machines éprouveraient une fatigue et une usure excessives.

C'est ainsi que dans le tracé des routes on diminue au

moyen de circuits la résistance par unité de distance parcourue. Il faut seulement remarquer que dans ce dernier cas le travail total augmente, tandis que dans le premier il diminue.

Nous avons vu que les résistances qui naissent au passage des courbes et dont on se rend compte par l'analyse qui précède sont considérablement diminuées dans la pratique par deux dispositions particulières du matériel dont une longue expérience a consacré l'efficacité et l'importance, la forme conique des jantes de roues et l'inclinaison transversale de la voie.

L'inclinaison transversale de la voie donne lieu à une inclinaison semblable du wagon; celui-ci tend dès lors à se rapprocher du centre de la courbe, et l'effet de la force centrifuge se trouve détruit en tout ou en partie. On peut la détruire en totalité pour une vitesse déterminée si l'on donne au rail extérieur, au-dessus du rail intérieur, dans chaque courbe, une surélévation telle que les composantes de la gravité et de la force centrifuge opposées suivant la direction de l'inclinaison transversale de la voie soient exactement égales.

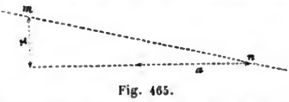


Fig. 465.

La surélévation se calcule alors de la manière suivante : soit α l'angle qui formait avec l'horizon une droite *mn* (fig. 465) normale à la voie et coupant les axes des deux files de rails de la courbe extérieure et de la courbe intérieure. Soit P le poids du wagon, P *sin* α sera la composante de ρ et elle mesurera la force centripète. Soit F la force centrifuge dans le plan horizontal. La composante opposée à la force centripète sera P *cos* α. Pour que l'équilibre existe on devra écrire :

$$P \cos \alpha = F \sin \alpha.$$

D'où :

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \text{tang}\ \alpha = \frac{F}{\rho}.$$

Si l'on désigne par x la surélévation et par a la demi-largeur de la voie on a aussi :

$$\text{Tang}\ \alpha = \frac{x}{2a};$$

D'où :
$$\frac{x}{2a} = \frac{F}{\rho}.$$

Mais si v est la vitesse en mètres par seconde, g la gravite et ρ le rayon moyen de la courbe,
$$F = \frac{\rho v^2}{g\rho} = \frac{Pv^2}{9{,}8088\rho};$$

D'où :
$$\frac{x}{2a} = \frac{v^2}{9{,}8088\rho}$$
$$x = \frac{2av^2}{9{,}8088\rho}.$$

V désignant la vitesse en kilomètres par heure
$$V = 3{,}600v.$$
$$V^2 = 12{,}960\,v^2.$$
$$V^2 = \frac{V^2}{12{,}960}$$

D'où :
$$x = \frac{2aV^2}{9{,}8088 \times 12{,}960\rho} = \frac{aV^2}{63{,}561024\rho}.$$

Pour obtenir cette surélévation on doit augmenter la pente de l'alignement qui précède la courbe de un millimètre par mètre, de manière que la file extérieure de rails de la courbe soit surélevée de la quantité totale dès l'origine de cette courbe.

L'effet de cette surélévation à des vitesses moindres que celle à laquelle elle aura été appliquée, tendra à rejeter les véhicules sur le rail intérieur et à y reporter ainsi une portion de l'inconvénient de la courbure de la voie, mais le danger de déraillement sera du moins écarté et la conicité des roues y remédiera d'ailleurs dans une certaine mesure.

Il ne faut donc pas craindre, dans le double intérêt de la facilité et de la sécurité de la circulation, de baser l'inclinaison transversale de la voie sur la plus grande des vitesses avec lesquelles les trains de voyageurs pourront avoir à parcourir chaque courbe.

La rigidité du plan commun des roues de chaque véhicule résultant du parallélisme des essieux nécessite d'ailleurs entre

les boudins ou mentonnets des roues et les bords intérieurs des rails un jeu ou excès de largeur de la voie, proportionné à l'écartement des essieux extrêmes et d'autant plus grand que le rayon des courbes du tracé est plus petit.

M. Harding a proposé une formule pour calculer les résistances des convois remorqués, machine non comprise, sur les chemins à voie étroite. Les résultats qu'elle donne sont un peu trop forts pour les faibles vitesses, mais conviennent bien aux grandes vitesses de 60 à 100 kilomètres, les trains pesant de 20 à 100 tonnes;

R étant la résistance totale par tonne exprimée en kilogrammes.

V la vitesse en kilomètres par heure;

N la plus grande section transversale du train;

T le poids du train exprimé en tonnes;

Cette formule est :

$$R = 2^{k},72 + 0,094\,V + 0,00484\,\frac{NV^2}{T}.$$

Le terme $2^{k},72$ est le coefficient de frottement des véhicules.

Le second terme exprime la résistance due aux chocs et vibrations qui résultent du passage sur les joints des rails et des mouvements irréguliers du train. Le troisième terme représente la résistance de l'air.

DÉTERMINATION DES RÉSISTANCES ACCIDENTELLES.

Nous n'avons jusqu'à présent traité que des résistances normales opposées à l'action du moteur, en supposant l'atmosphère parfaitement calme. Mais les chiffres que nous avons donnés sont singulièrement modifiés par les résistances accidentelles que peut développer l'action des vents en face, en queue ou sur le côté du train, et qu'il était bon d'apprécier. MM. Lardner et Morin ont fait, dans ce but, des expériences dont les tableaux suivants indiquent les résultats.

Le docteur Lardner a cherché à se rendre compte de l'effet des vents en lançant des wagons sur des plans diversement

inclinés, et en déterminant leur vitesse quand elle est devenue uniforme. Voici quelques-unes de ses observations.

DÉSIGNATION DES VENTS.	PENTE.	RÉSISTANCE.	VITESSE UNIFORME en kilomètres par heure.
Calme parfait.	0,004	0,004 (P+p)	30
»	0,011	0,011 (P+p)	54
Vent arrière.	0,010	0,010 (P+p)	54
»	0,003	0,003 (P+p)	30
»	0,005	0,005 (P+p)	38
Vent de bout.	0,010	0,010 (P+p)	45
Vent de côté.	0,005	0,005 (P+p)	27

En 1840, M. Morin a mesuré directement, à l'aide d'un dynamomètre à ressort, la résistance d'un convoi de 5 wagons, pesant ensemble $27^{t},6$, remorqués à la vitesse de 18 à 25 kilomètres à l'heure. Ces expériences ont été faites sur le chemin de Saint Germain, dont le tracé et le profil sont très-peu accidentés. Voici les résultats de ces expériences.

DÉSIGNATION DES VENTS.	RÉSISTANCE TOTALE par tonne.	NOMBRE des EXPÉRIENCES.	VITESSES MOYENNES en kil. à l'heure.
Vent arrière.	$5^{k},05$	12	18 à 25^{k}
Vent de bout	$8^{k},20$	10	*id.*
Vent arrière.	$3^{k},98$		17
Vent oblique opposé au mouvement, ayant une vitesse d'environ trois mètres par seconde.	$5^{k},52$ $10^{k},25$	4	40

On remarque, à l'inspection de ces tableaux, que le vent

de bout, c'est-à-dire le vent soufflant en sens contraire de la marche du convoi, n'agissant que sur une petite surface, produit bien moins d'effet que le vent soufflant latéralement. Il est à regretter que M. Lardner n'ait pas, comme M. Morin, indiqué la vitesse du vent dans ses expériences.

Nous terminerons ce chapitre par un tableau comparatif des résistances à différentes vitesses sur les chemins de fer, les routes ordinaires et les canaux.

COMPARAISON DE LA RÉSISTANCE SUR LES DIFFÉRENTES VOIES DE COMMUNICATION.

Routes ordinaires en bon état.	$\frac{1}{30} = 0,033$
Routes en bois.	$\frac{1}{70} = 0,014$
Chemins de fer (vitesse modérée, 8 lieues par heure).	$\frac{1}{200} = 0,005$
(grande vitesse, 12 lieues par heure).	$\frac{1}{100} = 0,010$
Canaux, grande section avec bateaux ordinaires, très-faible vitesse. .	$\frac{1}{1000} = 0,001$
— vitesse double.	$\frac{1}{250} = 0,004$
— vitesse quadruple.	$\frac{1}{62} = 0,016$
Canaux petite section avec bateaux ordinaires, faible vitesse. . . .	$\frac{1}{600} = 0,0017$
— vitesse double.	$\frac{1}{150} = 0,0066$
— vitesse quadruple.	$\frac{1}{37} = 0,0305$

Nous avons supposé que le transport s'opérait, sur les canaux, avec les bateaux ordinaires, et que la résistance y croissait comme le carré de la vitesse[1]. Lorsqu'on se sert des bateaux effilés, semblables aux pirogues des Indiens, bateaux qui sont en usage sur certains canaux d'Écosse, la résistance au delà d'une vitesse de 3 mètres par seconde continue à croître, mais en suivant une progression indéterminée, moins rapide

1. Sur les canaux à petite section, quand les bateaux ont une certaine largeur, la résistance croît comme le cube de la vitesse.

que celle du carré. Ces bateaux ne sont employés que pour le transport des voyageurs, et, bien qu'ils n'éprouvent pas à de grandes vitesses la même résistance que les bteaux ordinaires, ils n'en ont pas moins à surmonter une résistance encore énorme, comparée à celle opposée au moteur aux mêmes vitesses sur les chemins de fer.

Il semblerait, d'après les chiffres donnés dans le tableau, que le transport des marchandises encombrantes, qui n'exige généralement pas une grande vitesse, devrait s'opérer plus avantageusement par les canaux que par les chemins de fer. Cela serait vrai si l'on se servait du même moteur sur l'une et sur l'autre espèce de voies de communication ; mais il ne faut pas oublier que tous les essais tentés jusqu'à ce jour pour employer la vapeur à la traction sur les canaux ont été infructueux. C'est ce qui rend la traction souvent moins coûteuse sur les chemins de fer, même à de petites vitesses, bien que l'effort de traction y soit beaucoup plus grand ; toutefois, cette condition n'est remplie qu'à la condition de tirer le meilleur parti possible de la machine à vapeur, en lui faisant traîner des convois complets ou à peu près.

CHAPITRE XIV.

THÉORIE DES LOCOMOTIVES.

Quand il s'agit de déterminer les effets que l'on peut obtenir d'une machine à vapeur fixe, la question à résoudre est en général la suivante :

Combien de kilogrammètres cette machine pourra-t-elle fournir dans des circonstances données de distribution, si l'on suppose que l'on puisse disposer d'une quantité indéfinie de vapeur à une pression déterminée?

Dans les machines locomotives, la quantité de vapeur fournie est limitée; elle dépend essentiellement de la disposition de la chaudière et des circonstances de la marche. Néanmoins, nous allons tenter d'indiquer la méthode à suivre pour aborder le problème suivant :

Étant donné un mécanisme composé de deux cylindres, de leur distribution, de leurs appareils de prise de vapeur et d'échappement, quelle charge cet appareil pourra-t-il remorquer à une vitesse donnée, s'il est mis en communication avec un réservoir contenant de la vapeur à une pression déterminée et invariable?

Nous montrerons ensuite en quoi les conditions du problème se modifient dès que l'on fait entrer en ligne de compte la quantité de vapeur que la chaudière sera capable de produire dans chaque cas particulier.

Quand la vitesse d'un train remorqué par une machine locomotive est devenue uniforme, il y a équilibre entre le travail moteur et le travail résistant; en d'autres termes, le travail développé par la vapeur motrice pendant un certain temps est

égal au travail résistant développé pendant le même espace de temps par le train, machine comprise.

Lorsque nous avons étudié les importantes questions de l'avance et du recouvrement, nous avons vu que l'action de la vapeur comportait six périodes bien distinctes, savoir :

L'admission,

La détente,

L'échappement anticipé,

L'échappement proprement dit,

La compression,

La marche à contre-vapeur,

lesquels se succèdent dans l'ordre ci-dessus pendant un tour complet des roues motrices.

Admission. — Au moment où le piston quitte le fond du cylindre, la lumière d'introduction est déjà ouverte d'une certaine quantité. Aux premiers instants de la marche la vitesse du piston est faible; elle va en augmentant jusqu'à ce qu'il ait atteint environ le milieu de sa course; puis elle diminue pour redevenir nulle quand il arrive à l'extrémité du cylindre.

Or, à mesure que le piston se déplace, la vapeur qui remplit le réservoir et les canaux qui la conduisent dans le cylindre se précipite dans l'espace que ce piston laisse libre derrière lui, et ce mouvement ne peut avoir lieu qu'en vertu d'une différence de pression entre la vapeur contenue dans le réservoir et celle qui remplit le cylindre. On a reconnu par l'expérience que cette différence de pression, nécessaire pour vaincre les résistances que la vapeur éprouve à se mouvoir dans des conduites longues, sinueuses et présentant des variations brusques de section, est d'autant plus grande que la vitesse est plus considérable. Si donc la forme de la conduite ne variait pas pendant une course entière du piston, la pression, constante dans le réservoir, serait dans le cylindre un maximum au commencement et à la fin, un minimum au milieu de cette course.

Mais, tandis que le piston se déplace, le tiroir ne reste pas immobile. L'ouverture par laquelle la vapeur passe de la boîte à tiroir dans la lumière du cylindre change sans cesse de grandeur; on peut admettre sans grande erreur que, pour une distribution normale, elle croît et décroît avec la vitesse du piston. Ainsi, la résistance au mouvement de la vapeur augmentant dans le tuyau de prise de vapeur et dans les conduits du cylindre, diminue au passage des lumières; il s'établit de cette manière une sorte de compensation entre ces deux causes de changement de pression dans les cylindres, et l'on peut considérer cette pression comme constante pendant toute la durée de l'admission, sauf à prendre une moyenne.

Le travail de la vapeur pendant cette période est égal au produit de la pression de la vapeur sur le piston par le chemin qu'il parcourt pendant l'admission. Il dépend donc essentiellement de la pression de la vapeur dans le cylindre.

Le rapport entre cette pression et celle de la vapeur contenue dans la chaudière varie avec les circonstances suivantes :

1° La vitesse moyenne du piston, laquelle dépend de la vitesse de translation du train et du rapport entre le diamètre des roues motrices et la course des pistons;

2° L'ouverture plus ou moins grande du régulateur;

3° La forme plus ou moins sinueuse et les dimensions de la conduite et des canaux des cylindres;

4° La marche des tiroirs;

5° La densité de la vapeur qui croît avec sa pression et surtout avec la quantité d'eau qu'elle entraîne mécaniquement.

La théorie du mouvement des fluides compressibles est trop peu avancée pour que l'on puisse *calculer* l'influence de chacune de ces causes de résistance.

Si, malgré cela, on voulait soumettre au calcul cette partie du travail de la vapeur, il faudrait affecter la pression de cette vapeur dans le réservoir d'un coefficient variable avec la vi-

tesse[1]. Ce coefficient se déduirait des expériences dont nous parlerons à la fin de ce chapitre, en choisissant pour chaque cas particulier celles qui paraîtraient se rapprocher le plus des circonstances.

La compensation des résistances dont nous avons parlé plus haut n'existe plus quand la distribution est réglée avec beaucoup d'avance et de recouvrement. Faute de méthodes sûres pour calculer les variations de pression, on devra, même dans ce cas, recourir à une moyenne expérimentale.

Détente. — Le travail dû à la détente de la vapeur est facile à calculer quand on connaît la pression au commencement de cette période et le rapport entre le volume initial et le volume final de la vapeur.

Si l'on désigne par p la tension sensiblement constante de la vapeur pendant l'admission, par p' la valeur moyenne de la pression résistante absolue derrière le piston, par l la course totale du piston, par d son diamètre en centimètres, par l' la portion de la course pendant laquelle la détente a lieu, le travail moteur durant l'admission sera $\frac{\pi d^2}{4} p(l, -l')$. Si l'on désigne par λ la distance de l'origine de la course du piston à l'une quelconque de ses positions dans la période de détente, par q la tension correspondante de la vapeur, le travail moteur élémentaire pendant la détente sera $\frac{\pi d^2}{4} q\, d\lambda$ et le travail total pendant la détente $\frac{\pi d^2}{4} \int_{l-l'}^{l} q\, d\lambda$, ou,

q étant égal à $p\frac{l-l'}{\lambda}$,

$$\frac{\pi d^2}{4} p(l-l') \int_{l-l'}^{l} \frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{\pi d^2}{4} p(l-l') \frac{1}{\log e} \log \frac{l}{l-l'}.$$

1. L'influence de l'eau entraînée et des étranglements et sinuosités de la conduite de vapeur est sans nul doute fort grande; mais comme il n'existe aucune donnée pour l'apprécier, on est obligé de la négliger. C'est pour cela que nous conseillons de ne tenir compte que de la vitesse moyenne du piston dans l'évaluation de la pression de la vapeur dans le cylindre.

On aura donc pour expression du travail moteur de la vapeur, pendant l'oscillation simple du piston ou pendant une demi-révolution des roues motrices,

$$\frac{\pi d^2}{4} p(l-l')\left(1+2,303\log\frac{l}{l-l'}\right),$$

et pour celle du travail utile, le travail résistant étant $\frac{\pi d^2}{4} p' l$,

$$\frac{\pi d^2}{4}\left\{p(l-l')\left(1+2,303\log\frac{l}{l-l'}\right)-p' l\right\}.$$

Les valeurs du terme $1+2,303\log\frac{l}{l-l'}$, qui sont

$$1,357 \quad 1.916 \text{ et } 3,303$$

pour $l'=0,3.\,l \quad 0.6.\,l \quad 0,9.\,l,$

montrent l'importance de la détente pour l'économie de vapeur et de combustible dans une machine donnée, ou pour l'augmentation de sa puissance sans modification des conditions de vaporisation.

Échappement anticipé. — Dès que l'arête intérieure du tiroir découvre la lumière du cylindre, la vapeur emprisonnée dans ce cylindre est mise en communication avec l'atmosphère : elle s'échappe. Sa pression diminue rapidement jusqu'à ce qu'elle soit devenue égale à celle de l'atmosphère, augmentée de celle qui est nécessaire pour lui faire vaincre les résistances qu'elle éprouve en circulant dans le canal du cylindre, dans la cavité du tiroir et dans le tuyau d'échappement. Ces résistances, analogues à celles que nous avons signalées pour l'admission, dépendent des mêmes éléments, si ce n'est que l'ouverture du régulateur est ici remplacée par celle de la tuyère d'échappement.

La pression, au commencement de cette période, dépend essentiellement de la durée de l'admission et de celle de la détente. Cette pression est d'autant plus grande, que la quantité de vapeur admise est plus considérable et qu'elle s'est moins détendue.

Comme pour l'admission, il faudrait avoir recours aux expériences connues pour estimer le travail exercé par la vapeur sur le piston.

Échappement proprement dit. — Pendant la marche rétrograde du piston, la vapeur, qui jusqu'ici avait exercé un travail moteur sur ce piston, crée des résistances à sa marche.

La vapeur qui remplit le cylindre à l'instant où le piston atteint l'extrémité de sa course, continue à s'échapper jusqu'à ce que le rebord intérieur du tiroir vienne rencontrer celui de la lumière.

Le travail résistant créé par cette vapeur dépend de sa pression; celle-ci varie encore avec la vitesse du piston, la forme et les dimensions des conduits, l'ouverture de la tuyère et la quantité d'eau entraînée.

Il faudrait donc adopter, pour évaluer ce travail, une pression moyenne déduite des expériences, comme nous l'avons déjà indiqué pour l'admission et pour l'échappement anticipé.

Le travail résistant dû à la compression de la vapeur se calculera, comme sa détente, quand on connaîtra sa pression au commencement de cette période et son volume initial et final. En effet, si l'on commençait par comprimer un volume donné d'un gaz pour le ramener ensuite au volume initial, le travail qu'il aurait fallu exercer sur ce gaz pour le comprimer serait exactement égal à celui qu'il serait capable de produire en se détendant.

Il est bon de remarquer que la compression, bien qu'elle augmente le travail résistant qu'éprouve le piston, peut être utile dans certaines limites.

En effet, si toute la vapeur contenue dans le cylindre s'échappait, la dépense de vapeur serait égale, pour chaque coup de piston, au volume engendré par ce piston, augmenté du volume nécessaire pour remplir les espaces nuisibles, la pression étant celle que possède la vapeur à l'instant où

l'admission cesse. La quantité de vapeur retenue par la compression doit être évidemment déduite de cette dépense.

Le travail à contre-vapeur se calculera comme celui de l'admission, en adoptant une pression moyenne que l'on déduira des expériences, et en multipliant l'effort supporté par le piston par le chemin qu'il aura parcouru pendant cette période.

Le travail total reçu par une face de l'un des pistons, pendant un tour de roue, est égal à la somme des trois premiers travaux, diminuée de la somme des trois derniers. Le travail total exercé sur les deux pistons est égal à quatre fois cette différence. La valeur en kilogrammes de l'effort de traction s'obtiendra en divisant ce travail exprimé en kilogrammètres par la circonférence des roues motrices exprimée en mètres.

Le travail de la vapeur est employé à vaincre les résistances que l'on peut classer de la manière suivante :

1° La résistance du convoi remorqué;

2° La résistance qu'éprouve la machine à se mouvoir sur les rails, si on la considère comme un simple véhicule, c'est-à-dire l'effort qu'il faudrait exercer sur cette machine pour la remorquer à la vitesse donnée, si l'on avait préalablement démonté les bielles, pompes et excentriques;

3° Le frottement des pièces du mécanisme provenant du poids de ces pièces et du serrage des garnitures;

4° Le frottement additionnel qui résulte de l'action de la vapeur sur les tiroirs et sur les pistons.

Nous avons vu dans le chapitre précédent comment on calcule l'effort à exercer sur un train pour lui faire conserver sa vitesse; nous n'avons donc plus à y revenir.

Connaissant la charge que porte chaque fusée d'essieu, on en déduira le frottement de ces fusées; puis on déterminera l'effort qui, agissant au pourtour des roues, ferait équilibre à ce frottement.

On évaluera de même le frottement de roulement des roues et la résistance de l'air comme nous l'avons indiqué pour les

wagons ; la somme de ces trois quantités sera l'effort nécessaire pour faire conserver à la machine la vitesse donnée.

L'expérience seule peut indiquer la valeur de cette deuxième partie de la résistance d'une machine.

M. de Pambour, dont nous avons déjà cité les expériences relatives aux wagons, et qui a fait également de nombreuses recherches sur l'effet des locomotives, l'a déterminé par trois moyens différents.

Faisant marcher la machine seule ou avec son tender à une très-faible vitesse et avec la pression la plus petite qui pût entretenir son mouvement, il a supposé que la pression de la vapeur dans les cylindres était la même que dans la chaudière, et il a déterminé ainsi l'effort exercé par cette vapeur.

En retranchant de cet effort la résistance de cette machine et de son tender considérés comme véhicules, et celle qui est due à la pression de la vapeur dans le cylindre, il a trouvé que le mécanisme créait une résistance additionnelle d'environ 30 kilogrammes pour les machines à roues non couplées, et de 36 kilogrammes pour les machines à roues couplées.

Il a déterminé également l'effort total nécessaire pour entretenir un mouvement très-lent de la machine en la faisant traîner par l'intermédiaire d'un dynamomètre à ressort. Les résultats de cette seconde expérience ont été conformes à ceux de la première.

Enfin il a abandonné des machines isolées à l'action de la pesanteur sur des plans inclinés. Au moyen du calcul, il a déduit des espaces parcourus dans un temps donné la valeur de la résistance de la machine. Ces dernières expériences ont donné les valeurs suivantes pour les résistances propres au mécanisme :

Machines non couplées.	16k »»
Id. couplées.	19 50

En moyenne, M. de Pambour a adopté les chiffres suivants :

Machines non couplées.	22^k	» »
Id. couplées.	27	» »

Dès que la vapeur est admise dans les cylindres, elle exerce sur les tiroirs et sur les pistons des efforts qui se traduisent en frottements des tiroirs, des excentriques, des glissières, des bielles et de l'essieu moteur. Ces frottements, étant proportionnels aux pressions qui les engendrent, le seront à la pression moyenne de la vapeur dans les cylindres, et par conséquent à la résistance totale du train à laquelle cette pression fait équilibre. On peut donc admettre que l'action de la vapeur augmente la résistance totale à vaincre d'une certaine fraction que M. de Pambour évalue à 0,137 pour les machines non couplées, et à 0,215 pour les machines couplées.

Les expériences de M. de Pambour ont eu lieu sur des machines bien moins puissantes que celles que l'on emploie aujourd'hui : les chiffres qu'il a trouvés ne pourraient pas s'appliquer aux moteurs actuels.

Tous les éléments des efforts moteur et résistant sont donc des fonctions de la vitesse et de la charge, et l'on conçoit que l'on pourrait arriver à les calculer.

En égalant l'effort de traction moyen à la somme des résistances, on obtiendrait une équation dont les seules variables seraient la masse à mouvoir et la vitesse. A l'aide de cette équation, on résoudrait aisément les deux questions suivantes pour chaque ouverture du régulateur et de la tuyère d'échappement, et chaque degré de détente :

Quelle charge le mécanisme moteur considéré pourrait-il remorquer à une vitesse donnée, s'il disposait d'une quantité de vapeur indéfinie à une pression donnée?

A quelle vitesse ce mécanisme remorquerait-il une charge donnée dans les conditions ci-dessus indiquées?

Mais les chaudières de locomotives produisent rarement une quantité de vapeur telle que, pour tous les degrés de détente et d'ouverture du régulateur et pour toutes les vitesses, la vapeur

fournie par la chaudière puisse remplacer celle qui serait dépensée par les cylindres.

En général, si l'on détendait peu et si le régulateur était complétement ouvert, le poids de la vapeur produite serait bien inférieur à celui qui passerait par les cylindres.

Le volume de la vapeur qui est dépensée par les cylindres pour un tour de roues est constant, mais son poids est proportionnel à sa pression. Avec un poids donné de vapeur, on pourra donc fournir un nombre de tours de roues d'autant plus grand que la pression de cette vapeur dans les cylindres sera plus faible. Mais comme l'effort de traction exercé par la machine dépend essentiellement de cette pression, on conçoit aisément que cet effort de traction soit limité par le poids de la vapeur fournie par la chaudière.

Quand l'équilibre entre la production et la dépense est altéré, il peut être rétabli de deux manières : 1° spontanément par un abaissement de pression dans la chaudière qui en détermine un analogue dans les cylindres; 2° en fermant partiellement le régulateur, ce qui augmente la différence de pression entre la chaudière et les cylindres[1].

En réalité, le problème de l'effet d'une machine locomotive ne peut être résolu que si l'on a préalablement déterminé *la quantité maxima de vapeur que cette machine peut produire à la vitesse donnée et dans des conditions de distribution déterminées*.

La production de vapeur dépend de deux éléments bien distincts :

1° La quantité de chaleur que peuvent transmettre les surfaces de chauffe;

1. Il est toujours préférable de recourir à la fermeture du régulateur, parce que l'on peut avoir à vaincre des résistances accidentelles qui exigent *momentanément* un accroissement dans l'effort de traction; accroissement que l'on ne pourrait obtenir si le régulateur était complétement ouvert. Si la machine est à détente variable, il faut donner au régulateur son ouverture maxima et régler la vitesse en détendant plus ou moins.

2° La quantité de combustible que cette machine peut brûler complétement dans un temps donné et dans les conditions considérées.

Nous avons vu que la surface de chauffe des machines locomotives se subdivise en deux parties :

La surface du foyer;

La surface des tubes.

La surface intérieure du foyer reçoit directement la chaleur rayonnée par le combustible; sa température est par cela même très-élevée, et la transmission de la chaleur à travers ses parois, qui est proportionnelle à la différence de température de ses deux surfaces, est très-considérable.

Les tubes, par contre, sont à l'abri du rayonnement du combustible; ils sont parcourus dans leur partie voisine du foyer par la flamme, dans leur partie antérieure par les gaz chauds qui sont les produits de la combustion. La température de la surface des tubes est éminemment variable pour un même tube d'un point à l'autre de sa longueur, pour tous les tubes avec l'activité de la combustion.

Mais leur surface extérieure est en contact avec l'eau de la chaudière dont la température est sensiblement constante; la quantité de chaleur transmise par chaque unité de surface intérieure des tubes sera donc plus grande près du foyer que près de la boîte à fumée.

On admet en moyenne, d'après des expériences déjà anciennes, que chaque mètre carré de surface du foyer équivaut à 3 mètres carrés de la surface des tubes.

Dans certaines machines, les tubes sont longs et peu nombreux; dans d'autres, ils sont moins longs et en plus grand nombre.

Dans le deuxième cas, la température moyenne des gaz qui les traversent sera, toutes choses égales d'ailleurs, plus élevée que dans le premier; la quantité de vapeur produite par l'unité de surface sera moindre pour les tubes d'une grande longueur que pour les tubes courts.

En revanche, ces derniers refroidissent moins bien la fumée que les premiers, et doivent leur être inférieurs sous le rapport de l'utilisation complète du combustible.

Le rapport que nous avons indiqué n'a donc rien d'absolu; il est même probable que, déterminé sur des machines dont les tubes étaient plus courts que ceux que l'on emploie aujourd'hui, il serait en tout cas trop avantageux à la surface tubulaire.

La quantité de vapeur produite dans un temps donné est limitée essentiellement par la quantité de combustible qui a été brûlé dans ce même espace de temps, laquelle est proportionnelle à la quantité d'air qui aura traversé le combustible; en d'autres termes, au *tirage*.

Un kilogramme de coke, en absorbant 1,3 kilogrammes d'oxygène, se transforme en oxyde de carbone et produit 1200 unités de chaleur. S'il se combine à 2,6 kilogrammes d'oxygène, il se transformera en acide carbonique et produira 6000 unités de chaleur.

La transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique exige donc la même quantité d'oxygène que la transformation du charbon en oxyde de carbone, et produit une quantité de chaleur quadruple.

Ainsi il est évident qu'il faudra toujours brûler complétement le combustible (c'est-à-dire le transformer en acide carbonique), soit pour en réduire la consommation à un minimum, soit pour arriver, avec un tirage donné, à la plus grande production de vapeur possible.

Nous allons raisonner dans l'hypothèse que la charge de coke sur la grille sera toujours réglée de manière à produire cette combustion complète.

Il est reconnu que 1 kilogramme de coke exige, pour être brûlé complétement, 15 mètres cubes d'air.

Il suffirait donc de diviser par 15 le nombre de mètres cubes d'air qui traversent le foyer pendant une seconde pour déterminer le nombre de kilogrammes de coke brûlé pendant le même temps.

Quelle que soit l'activité du tirage, la surface de chauffe d'une locomotive donnée ne changera pas.

Si cette machine brûle une faible quantité de combustible, les produits de la combustion traverseront lentement les tubes et se refroidiront d'une manière complète; si la combustion est très-active, le refroidissement de la fumée sera imparfait. Dans le premier cas, 1 kilogramme de coke produira plus de vapeur que dans le second, et l'on doit admettre :

Que, pour une machine donnée, la quantité de vapeur produite par un kilogramme de coke variera avec la quantité de ce combustible qui sera brûlée dans l'unité de temps, et que cette variation suivra une loi que l'on pourrait déterminer par expérience.

La quantité de coke brûlé étant proportionnelle au tirage, il nous reste à examiner quels sont les éléments qui influent sur ce tirage.

L'air chaud qui s'écoule par la cheminée, et le jet de vapeur qui est lancé dans cette cheminée donnent lieu à un vide partiel dans la boîte à fumée, ou en d'autres termes à une différence de pression entre cette boîte à fumée et l'atmosphère.

Cette différence de pression est nécessaire pour vaincre les résistances que l'air éprouve à se mouvoir, résistances qui se manifestent surtout à son passage à travers le combustible et à travers les tubes.

Ces résistances croissent rapidement avec la vitesse de l'air et avec la longueur de son parcours; il est donc évident qu'elles seront d'autant plus grandes, que la couche de combustible qui recouvre la grille sera plus épaisse et que les tubes seront plus longs, de plus petit diamètre et en moins grand nombre.

On peut considérer le tirage dû à la cheminée comme constant dans toutes les circonstances; il dépend de la hauteur et du diamètre de cette cheminée, ainsi que de la température moyenne des gaz qui la traversent. En marche, il est

peu important, comparé à celui qui est dû au jet de la vapeur.

Le jet de vapeur lancé dans la cheminée produit un appel d'air très-énergique, mais éminemment variable.

Pour une même machine, cet appel croît avec le nombre de coups de piston, par conséquent avec la vitesse et avec la pression moyenne de la vapeur qui s'échappe, à l'instant où elle pénètre dans la cheminée.

Nous avons vu précédemment comment cette pression varie.

Avec la pression dans la chaudière;

Avec la durée de l'admission;

Avec l'ouverture du régulateur;

Avec la durée de la détente;

Avec l'ouverture de la tuyère.

Elle est donc intimement liée avec les résistances à vaincre, et l'on sait en effet :

Que le tirage dû à l'échappement est d'autant plus grand que la vitesse et l'effort de traction sont plus considérables[1].

Si donc nous pouvions exprimer en langage mathématique la loi qui régit ces influences, nous pourrions aborder le problème suivant :

Quelle vitesse une machine locomotive déterminée prendra-t-elle sur une portion de ligne dont la courbure et la pente sont connues en remorquant un train donné; l'ouverture du régulateur et le degré de la détente étant également déterminés?

1. Ainsi, quand une machine gravit une rampe, sa vitesse diminue; mais l'effort de traction augmente, ainsi que la pression de la vapeur à l'échappement, et la production de vapeur n'est pas sensiblement altérée.

Quand, par contre, cette machine descend une pente d'une grande longueur, son mouvement s'accélère; mais on devra presque toujours par prudence modérer cette vitesse en fermant plus ou moins le régulateur ou en détendant davantage; la pression à l'échappement diminuera avec la résistance à vaincre, et il arrivera fréquemment que cette pression sera insuffisante pour faire conserver à la combustion l'activité nécessaire. Aussi, voit-on en général la pression de la chaudière baisser brusquement quand, après avoir descendu une forte pente d'une grande longueur, on arrive tout à coup sur une portion de ligne où les résistances sont très-considérables.

L'inconnue serait la vitesse.

Après avoir calculé, comme nous l'avons indiqué la vitesse que prendrait la machine si la production de vapeur était indéfinie, on déterminerait le poids de vapeur dépensé, lequel se déduirait des circonstances de la distribution et de la pression de la vapeur à la fin de la période de l'admission.

Puis on calculerait, comme nous venons de l'indiquer, la quantité de vapeur produite dans les circonstances données.

Cette quantité de vapeur pourrait être égale, supérieure ou inférieure à la dépense trouvée ci-dessus.

Si elle était égale, la vitesse trouvée serait non-seulement possible, mais encore celle de laquelle on tirerait le meilleur parti de la machine pour le degré de détente considéré.

Si la production était supérieure à la dépense, il en résulterait une perte de vapeur pour les soupapes de sûreté; la solution serait encore possible; mais elle cesserait d'être avantageuse.

Il faudrait recommencer les calculs en augmentant progressivement l'ouverture de l'échappement, ou, si celui ci était déjà ouvert au maximum, celle du régulateur, et l'on obtiendrait, dans l'un et l'autre cas, une vitesse supérieure à celle que l'on avait déterminée d'abord.

Si enfin la dépense excédait la production, la pression dans la chaudière baisserait; la vitesse trouvée ne pourrait donc se maintenir pour conserver le même degré de détente et tirer de la machine un bon parti, il faudrait, ou serrer l'échappement, ou diminuer l'ouverture du régulateur.

Il est un dernier élément dont il faudrait tenir compte dans un calcul de ce genre. Si l'effort de traction, calculé comme nous venons de le voir, était plus considérable que le frottement de glissement des roues motrices sur les rails, la machine tournerait sur place, elle *patinerait*. Ce frottement de glissement varie de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{10}$ de la pression qu'exercent les roues motrices sur les rails, suivant que ces rails sont secs ou gras; on admet en moyenne $\frac{1}{6}$. *L'effort de traction devra donc être*

moindre que la sixième partie du poids supporté par les roues motrices.

Par tout ce qui précède, on a pu voir combien il serait difficile de soumettre au calcul les questions qui se rattachent au travail des machines locomotives.

A une époque où ces machines étaient encore loin d'avoir atteint le degré de perfection auquel elles sont arrivées aujourd'hui, M. de Pambour a publié un travail fort intéressant sur le sujet qui nous occupe. Les expériences qui ont servi de base aux calculs de ce savant, datent de 1834 et de 1836; elles ont été faites sur les machines qui desservaient, à cette époque, la ligne de Liverpool à Manchester.

Dans ces machines, la distribution de la vapeur se faisait au moyen d'excentriques à embrayage, l'avance était négligeable et l'ouverture de l'échappement ne variait pas.

M. de Pambour n'avait donc pas à s'occuper des effets de la détente, de la compression et de l'échappement variable; affranchi de ces complications, il a pu établir des formules assez simples, qui représentent approximativement les faits qu'il a observés.

Depuis la publication des travaux de M. de Pambour, les machines locomotives ont subi des modifications telles, que ses formules ne sont plus susceptibles d'applications pratiques; aussi nous abstiendrons-nous de les donner ici.

Tout récemment, M. Lechatelier, ingénieur des mines, dans une séance de la société des ingénieurs civils, a proposé un certain nombre de règles pratiques pour déterminer les dimensions des principaux organes des machines locomotives. Ces règles sont déduites de la comparaison d'un grand nombre des meilleures machines anglaises et françaises, et des expériences les plus récentes faites sur les machines, par MM. Gouin et Lechatelier en 1844, Gooch en 1847, et Bertera en 1850.

Avant d'exposer les règles formulées par M. Lechatelier, nous croyons devoir analyser succinctement les résultats de ces expériences, dont les détails les plus intéressants sont publiés

dans le *Guide du mécanicien conducteur et constructeur de locomotives*, de MM. Lechatelier, Flachat, Petiet et Polonceau.

La pression de la vapeur dans les cylindres étant très-variable et différant, dans la plupart des cas, beaucoup de celle de la chaudière, il a fallu déterminer directement cette pression dans les diverses circonstances de la machine. A cet effet, les expérimentateurs ont tracé, au moyen de l'indicateur de Watt, un grand nombre de diagrammes[1].

Les expériences de MM. Gouin et Lechatelier ont été faites sur la machine *la Gironde*, à détente fixe, obtenue par avance et recouvrement. Celles de M. Gooch, sur *la Great-Britain*, machine à grande vitesse du chemin à large voie de Londres à Bristol. Cette machine se rapproche beaucoup, quant à ses dispositions, du type Sharp Roberts; la distribution y est effectuée par une coulisse Stephenson. M. Bertera a opéré sur une machine à voyageurs, à longs tubes et petit foyer, de Stephenson, et sur une machine à marchandises à deux roues couplées, construite par M. Polonceau. Cette dernière machine est surtout remarquable par sa distribution à coulisse, qui permet une détente très-prolongée.

1. L'indicateur de Watt se compose d'un cylindre de petit diamètre dans lequel se meut un piston métallique très-juste, mais en même temps très-libre. L'une des faces de ce piston est pressée par un petit ressort à boudin qui se raccourcit de quantités proportionnelles aux pressions que reçoit l'autre face du piston. Cette autre face est soumise à l'action de la vapeur dont on veut mesurer la tension; à cet effet le cylindre de l'indicateur peut être mis en communication avec le cylindre de la machine, avec la boîte à tiroir, la chaudière ou avec l'atmosphère, au moyen de tuyaux et de robinets. L'indicateur est fixé horizontalement au-dessus du tablier de la machine et perpendiculairement au grand axe de cette machine; la tige de son piston porte un petit porte-crayon articulé. Le papier sur lequel le crayon doit tracer les courbes qui représentent le mode d'action de la vapeur, est collé sur une planchette fixée au moyen d'une forte barre de fer à la crosse du piston. Ainsi la feuille de papier exécute le même mouvement que le piston. Quand l'indicateur est mis en communication avec l'atmosphère, le crayon ne bouge pas, et il trace par conséquent une ligne droite sur le papier. Mais si la vapeur vient agir sur le piston de l'indicateur, le crayon se déplace d'une quantité proportionnelle à la pression de cette vapeur, et trace une courbe dont les abscisses représentent les positions du piston, et les ordonnées les pressions correspondantes de la vapeur. Ces courbes s'appellent des *diagrammes*.

Ces pertes de pression sont dues, comme nous l'avons vu précédemment, à diverses causes. Celles qui résultent de la plus ou moins grande ouverture du régulateur ont été étudiées par MM. Gouin et Lechatelier, sur la machine *la Gironde*. Pour cette machine, marchant à la vitesse moyenne de 45 kilomètres à l'heure, le niveau de l'eau étant maintenu très-élevé dans la chaudière, le rapport entre les pressions absolues de la vapeur dans les boîtes à tiroir et la chaudière était :

Pour une ouverture du régulateur	de 15	cent. carrés	de 0,64
—	de 25	—	de 0,80
—	de 35	—	de 0,90
—	de 55	—	de 0,951

Au delà de 55 cent. carrés, le rapport cessait de croître.

Dans cette machine, la détente fixe est obtenue par une avance angulaire de 38° et par un recouvrement extérieur de $0^m,030$; les lumières se découvrent toujours complétement. Aussi la différence de pression entre la boîte à tiroir et les cylindres est-elle faible. La moyenne de 22 expériences, faites à des vitesses qui diffèrent peu de 47 kilomètres à l'heure, le niveau étant maintenu élevé dans la chaudière, donne 0,908 pour rapport entre les pressions absolues dans les cylindres et dans les boîtes à tiroir.

Le régulateur étant ouvert de 55 centimètres carrés, on aurait donc pour rapport entre la pression dans les cylindres et dans la chaudière :

$$0,951 \times 0,908 = 0,863.$$

La perte totale serait de 0,137, dont $\frac{1}{3}$ pour le passage du régulateur et $\frac{2}{3}$ pour celui des lumières.

Dans une expérience dans laquelle l'eau entraînée avec la vapeur était en très-grande quantité, puisqu'elle sortait en abondance par la cheminée, la perte totale a été de 0,38.

Avec de la vapeur très-sèche, par contre, elle n'a été que de 0,09 à 0,10.

Ainsi, suivant que la quantité d'eau entraînée a été plus ou

moins grande, la perte de pression entre la chaudière et les cylindres a varié de 0,38 à 0,09 de la pression absolue de la vapeur dans la chaudière.

Cet exemple démontre suffisamment l'utilité des dispositions qui s'opposent à l'entraînement de l'eau par la vapeur.

Quand les machines sont munies de l'appareil de détente que nous avons décrit sous le nom de coulisse de Stephenson, la différence de pression entre la boîte à tiroir et le cylindre croît rapidement à mesure que l'on détend davantage. Cela tient à ce que, pour les fortes détentes, le tiroir ne découvre plus les lumières que de quelques millimètres. Les expériences de M. Bertera fournissent à cet égard des renseignements précieux, consignés dans le tableau suivant, que nous extrayons du *Guide du mécanicien*.

NOMBRE DES DIAGRAMMES TRACÉS.	DÉTENTE.			VITESSES MOYENNES EN KILOMÈTRES à l'heure.	PRESSIONS ABSOLUES (EN KILOGRAMMES par centimètre carré).				
	Cran de détente.	Admission en centièmes de la course.	Ouverture maximum des lumières.		(a) Chaudière.	(b) Boîte des tiroirs.	(c) Cylindres.	Rapports	
								$\frac{c}{a}$	$\frac{c}{b}$
			mètr.						
Machine à marchandises, n° 154 (Polonceau).									
3	9	0,17	0,005	26,6	6,21	5,86	3,22	0,52	0,59
16	8	0,23	0,006	25,2	5,98	5,23	3,37	0,56	0,64
6	7	0,30	0,007	31,4	5,94	5,38	3,92	0.66	0,73
Machine à voyageurs, n° 62 (Stephenson).									
24	8	0,34	0,009	40,6	6,80	6,10	3,40	0,50	0,56
4	7	0,43	0, 11	42,4	6,87	5,84	3,17	0,46	0,54

Contre-pression de la vapeur pendant la marche rétrograde du piston. — Les résultats les plus saillants des expériences sur ce sujet sont contenus dans le tableau suivant, que nous empruntons également au *Guide du mécanicien*.

NOMBRE DE DIAGRAMMES RELEVÉS.	ADMISSION EN CENTIÈMES de la course.	COMPRESSION EN CENTIÈMES de la course.	OUVERTURE MAXIMA des lumières. Admission.	OUVERTURE MAXIMA des lumières. Échappement.	VITESSE MOYENNE en kilomètres à l'heure.	PRESSIONS ABSOLUES EN KILOG. par cent. carré. Minima pendant l'admission.	PRESSIONS Maxima pendant l'échappement.	PRESSIONS Moyenne motrice.	PRESSIONS Moyenne résistante.	RAPPORT des moyennes.	OBSERVATIONS.
			m.	m.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.		
Machine à détente fixe (la Gironde).											Expériences de MM. Gouin et Lechatelier.
50	0,67	0,22	0,030	0,030	41,44	4,27	1,70	4,11	2,06	0,50	Recouvrement intérieur.. 0m,020
13	0,67	0,11	0,030	0,030	54,62	»	»	4,94	2,34	0,57	*id.* 0 ,005
Machine Great-Britain (large voie).											Expériences de M. Gooch.
29	»	»	»	»	32,08	3,02	1,03	2,59	1,20	0,46	Les éléments de la distribution ne sont pas donnés.
18	»	»	»	»	69,19	5,27	1,33	4,15	1,60	0,39	
19	»	»	»	»	93.66	6,49	1,83	5,19	2,12	0,40	
Machine à marchandises, n° 154 (Polonceau).											Expériences de M. Bertera (chemin d'Orléans).
3	0,17	0,50	0,005	0,025	26,6	3,22	1,20	2,14	1,48	0,69	
13	0,23	0,40	0,006	0,026	25,5	3,38	1,30	2,36	1,59	0,67	
6	0,30	0,35	0,007	0,027	21,4	3,92	1,35	2,90	1,63	0,56	
Moyenne	»	»	»	»	24,5	3,51	1,30	2,48	1,58	0,64	
Machine à voyageurs, n° 62 (Stephenson).											Expériences de M. Bertera.
21	0.34	0,25	0.009	»	40,9	3.32	1,71	2,95	1,89	0.64	
4	0,43	0,16	0,011	»	42,4	3,17	1,70	2,98	1.94	0,65	
Moyenne	»	»	»	»	41,1	3,29	1,71	2,95	1,90	0,64	

Les pressions moyennes motrice et résistante ont été obtenues en divisant les travaux moteur et résistant par la course du piston. Ces travaux ont pu être mesurés avec une grande exactitude sur les diagrammes. La pression motrice moyenne

tient compte de l'admission de la détente et de l'échappement anticipé; la pression résistante moyenne de l'échappement, de la compression et de la marche à contre-vapeur.

Si maintenant nous comparons les résultats consignés dans les deux derniers tableaux, de manière à faire ressortir l'influence du mode de distribution, nous obtenons les chiffres suivants :

PRESSIONS EN KILOGRAMMES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ.	MACHINE	
	POLONCEAU n° 154.	LA GIRONDE.
Dans la chaudière.	5,98	6
Dans les boîtes à tiroir.	5,23	»
Dans les cylindres, pendant l'admission.	3,37	»
Moyenne motrice	2,36	5,23
Moyenne effective	0.77	2,61
Rapport de la moyenne effective à la pression dans la chaudière.	13 p. 0/0	43 p. 0/0

Ce tableau fait voir que, pour les machines munies de la coulisse Stephenson, la pression dans la chaudière doit être aussi élevée que possible et les dimensions des cylindres considérables pour qu'elles marchent dans des conditions avantageuses.

Effets de l'échappement variable. — En diminuant la section de l'orifice du tuyau d'échappement on augmente la contre-pression; mais il n'existe pas de données expérimentales bien précises qui permettent de mesurer l'effet produit.

Quant au degré de vide produit dans le foyer et dans la boîte à fumée, il résulte d'expériences faites au chemin d'Orléans, sur une machine Stephenson, à petit foyer et à tubes d'une grande longueur :

1° Que le vide qui existe dans le foyer est, en moyenne,

égal à 0,55 du vide constaté dans la boîte à fumée. La résistance qu'éprouve l'air en traversant la grille et le combustible serait donc à celle qu'il éprouve en traversant les tubes dans le rapport de 55 à 45.

2° Que toutes les autres conditions restant les mêmes, le vide serait représenté par les nombres 1; 1,5; 3, suivant que l'échappement serait entièrement ouvert, à moitié ouvert ou fermé.

3° Que le vide, mesuré au moyen d'un manomètre à eau dans la boîte à fumée, était :

Un maximum de 0^m,208, l'échappement étant entièrement fermé et l'admission se faisant pendant les 0,34 de la course.

Toutes ces expériences ont été faites à des vitesses qui variaient de 40 à 50 kilomètres à l'heure et avec des trains légers.

Nous nous dispensons de consigner ici les autres résultats de ces expériences qui sont détaillés dans le *Guide du mécanicien*.

Au chemin de fer du Nord, des expériences analogues, faites à des vitesses de 55 à 60 kilomètres et avec des trains plus lourds, ont donné 0,67 pour rapport entre le vide du foyer et celui de la boîte à fumée.

Cette différence tient probablement à ce que les exigences du service auront forcé à donner une grande épaisseur à la couche de combustible contenue dans le foyer.

Eau entraînée et vapeur condensée dans les conduits et cylindres. — Une grande partie de l'eau consommée par les machines locomotives est entraînée mécaniquement par la vapeur sans avoir été vaporisée, et une grande partie de la vapeur formée est condensée dans les cylindres et conduits de la machine sans autre effet utile que celui de réchauffer ces appareils, qui se refroidissent à chaque coup de piston pendant les périodes de détente et d'échappement.

La consommation totale d'eau est facile à mesurer; elle s'obtient par un jaugeage du tender avant et après l'expé-

rience. Quant au poids de *la vapeur utilisée*, le seul moyen de l'obtenir d'une manière un peu certaine, consiste à déterminer son volume et sa densité à l'instant où cesse la période d'admission. Ces données se relèvent directement sur les diagrammes obtenus à l'aide de l'indicateur de Watt.

Nous ne détaillerons pas ici les résultats d'expériences que l'on possède sur ce sujet ; on les trouvera dans le *Guide du mécanicien*. Nous dirons seulement que :

1° Sur la machine *la Gironde*, admettant la vapeur pendant les 0,66 de la course, le rapport moyen du poids de la vapeur utilisée à celui de l'eau dépensée a été trouvé égal à 0,82 ;

2° Sur la machine Polonceau, n° 154, du chemin d'Orléans, admettant pendant les 0,25 de la course, le même rapport a été de 0,48.

Ainsi, sous ce rapport, les fortes détentes paraissent avoir un désavantage notable sur les admissions prolongées. Cela deviendra encore plus évident quand nous aurons dit que, dans la première machine, l'arête supérieure du corps cylindrique de la chaudière est élevée de $0^{m},32$ seulement au-dessus du ciel du foyer, tandis que dans la deuxième elle l'est de $0^{m},45$.

Il nous reste maintenant à faire connaître les règles proposées par M. Lechatelier pour guider les ingénieurs qui s'occupent de la construction des locomotives. Ces règles, toutes fort simples, sont les suivantes :

1° Pour éviter de fatiguer le mécanisme par une trop grande vitesse d'oscillation des pistons, *le nombre de tours des roues motrices pour* 1 *seconde doit être compris entre* $2\frac{1}{2}$ et 3. Ainsi soient :

V la vitesse de marche réelle que doit atteindre la machine en kilomètres par heure ;

D le diamètre des roues motrices en mètres, nous aurons :

$$V = \frac{1}{1000} \times 3600 \times \pi D \times \left\{ \begin{matrix} 2\frac{1}{2} \\ 3 \end{matrix} \right\}$$

d'où

$$D = \left\{ \begin{matrix} 0,036 \\ 0,029 \end{matrix} \right\} V.$$

2° *Les dimensions des cylindres doivent être telles que l'effort moyen de traction exercé au pourtour des roues motrices soit égal à la résistance totale qu'éprouve le train, machine et tender compris, à la vitesse et sur le profil considérés.* Cette résistance, déduite de la formule empirique de Wyndham-Harding, est :

$$R = 2^k,72 + 0,094V + 0,00484\frac{NV^2}{T} + 1000i;$$

R étant la résistance par tonne du poids du convoi exprimée en kilogrammes;

V la vitesse de marche en kilomètres à l'heure;

N la surface de front du plus grand véhicule, en mètres carrés;

T le poids du train (machine et tender compris), en tonnes;

i la plus forte inclinaison du profil considéré.

On calculera, au moyen de cette formule, la résistance par tonne du convoi. On augmentera de 25 pour 100 ou de 20 pour 100 cette quantité, suivant qu'on s'occupera d'un train de voyageurs ou de marchandises, pour tenir compte des résistances additionnelles dues aux frottements de la machine et à l'action de la vapeur; le résultat multiplié par le poids brut du convoi exprimé en tonnes, donnera la valeur de la résistance cherchée.

D'autre part, soient :

p la pression moyenne utile de la vapeur en kilogrammes par centimètre carré;

d le diamètre des pistons en centimètres;

l la course des pistons en centimètres;

D le diamètre des roues motrices également en centimètres :

L'effort moyen utile exercé par la vapeur au pourtour des roues motrices sera :

$$p\,\frac{d^2 l}{D}$$

Égalant cette quantité à la résistance déterminée comme nous l'avons indiqué précédemment, on en déduira la valeur

de $d^2 l$. Il suffira d'un ou deux tâtonnements pour établir entre d et l le rapport convenable.

La chaudière étant timbrée à 7 atmosphères, on peut admettre pour pression moyenne utile 4atm.,50 (4k,64 par centimètre carré). Ce chiffre tient compte de la diminution de pression due aux frottements de la vapeur dans les conduits, à la détente, à l'échappement et à la compression; il représente le maximum qu'on puisse obtenir quand la machine travaille avec une admission aussi prolongée que le permet la distribution.

Il faudra donc, dans l'expression $p \frac{d^2 l}{D}$, faire p égal à 4kil.,64.

3° *L'adhérence sera supposée égale à* $\frac{1}{6}$, proportion qui paraît généralement admise; en multipliant par 6 l'effort de traction calculé précédemment, on aura la charge que doivent supporter les roues motrices. Si cette charge est inférieure à 12 tonnes, on ne couplera pas les roues, entre 12 et 20 tonnes on en couplera deux paires, au-dessus de 20 tonnes on couplera les trois paires.

4° *Le rapport de la surface de chauffe* S *du foyer à celle* S' *des tubes doit être* : $\frac{S}{S'} = \frac{1}{10}$. Dans les machines anglaises, ce rapport est assez généralement admis: en France on a généralement fait les foyers trop petits $\left(\frac{S}{S'} = \frac{10}{116}\right)$, ce qui provient de ce que ces foyers sont presque tous en porte-à-faux.

5° *Le rapport de la surface de chauffe totale au volume engendré par les pistons doit être* $\frac{S+S'}{d^2 l}$ 1, S et S' étant exprimés en mètres carrés, d et l en décimètres. Dans les machines anglaises, M. Lechatelier a trouvé pour la valeur de ce apport 1,15. Cet excès tient à ce que les Anglais, qui ne font pas usage du tuyau d'échappement à orifice variable, donnent à leurs machines un excès de surface de chauffe afin de ne jamais manquer de vapeur.

Dans les machines françaises, qui généralement ont une surface de chauffe trop faible, ce rapport moyen est de 0,93.

Au moyen de ces données, M. Lechatelier a calculé les dimensions de trois types de machines placées dans des conditions de service très-différentes.

I[er] exemple. *Trains express de huit voitures, pesant chacune* 7 *tonnes et demie, marchant habituellement à la vitesse de* 80 *kilomètres à l'heure et franchissant, à cette vitesse, des rampes de* 5 *millimètres au maximum. Poids de la machine* 26 *tonnes, du tender* 11 *tonnes.*

II[e] exemple. *Trains-omnibus marchant avec* 16 *voitures de* 6 *tonnes et demie, à une vitesse qui n'excède pas* 45 *kilomètres à l'heure sur des rampes de* 5 *millimètres, et* 55 *kilomètres sur niveau ou à la descente, poids de la machine* 24 *tonnes, du tender* 11 *tonnes.*

III[e] exemple. *Trains de marchandises marchant avec* 40 *wagons de* 9 *tonnes chacun, à une vitesse de* 30 *kilomètres à l'heure à la montée des rampes de* 5 *millimètres, et à la vitesse de* 40 *kilomètres sur niveau et à la descente; poids de la machine* 28 *tonnes, du tender* 12 *tonnes.*

Ces machines peuvent être comparées, quant au service qu'elles effectuent, aux machines Crampton du chemin du Nord, mixtes du chemin de Lyon, et à marchandises du chemin du Nord (dernier type).

Le tableau suivant contient les dimensions calculées d'après les formules de M. Lechatelier, et, en regard, les dimensions correspondantes des trois machines dont nous venons de parler.

ÉLÉMENTS DES MACHINES.	1er EXEMPLE. Dimensions calculées.	1er EXEMPLE. Dimensions réelles.	2e EXEMPLE. Dimensions calculées.	2e EXEMPLE. Dimensions réelles.	3e EXEMPLE. Dimensions calculées.	3e EXEMPLE. Dimensions réelles.
Poids brut du convoi.	t. 97	t. 97	t. 155	t. 155	t. 400	t. 400
Résistance totale.	kil. 1920	»	2377	»	4,688	»
Charge des roues motrices. . .	t. 11,50	8,10	14,86	16,12	28,13	30
Nombre des roues accouplées..	»	»	4	4	6	6
Diamètre des roues motrices. .	m. 2,50	m. 2,10	m. 1,78	1,60 1,80	1,30	1,42
Diamètre des cylindres.. . . .	0,42	0,40	0,40	0,40	0,46	0,46
Course des pistons.	0,59	0,55	0,57	0,56	0,62	0,68
Surface de chauffe totale. . . .	m² 103,48	102,34	91,20	85,46	131,134	»
id. *id.* du foyer.. .	m.g. 9,41	7,38	8,49	7,86	11,94	»
id. *id.* des tubes. .	94,07	94,96	82,91	77,60	119,40	»

Les règles posées par M. Lechatelier n'ont rien d'absolu, et d'ailleurs on sera souvent forcé de s'en écarter dans la pratique. Néanmoins, elles seront toujours d'une grande utilité, puisqu'elles donnent dans chaque cas particulier les dimensions qu'on doit chercher à atteindre, afin de se trouver dans les mêmes circonstances de travail que les meilleures machines qui circulent aujourd'hui sur les chemins de fer.

Aux machines portées dans ce tableau, il faudrait ajouter la machine Engerth ; mais elle nous est encore trop peu connue pour que nous puissions lui appliquer la méthode de calcul proposée par M. Lechatelier.

Du travail développé par les machines locomotives dans leur service ordinaire. — Si les machines locomotives travaillent dans les mêmes conditions que les machines fixes ordinairement employées dans l'industrie, les plus puissantes

d'entre elles ne pourraient développer un travail supérieur à 20 et 25 chevaux.

Mais, d'une part, elles fonctionnent toujours à une pression très-élevée, et, d'autre part, leurs pistons marchent à des vitesses bien supérieures à celles qui sont généralement admises. Aussi n'exagérons-nous pas du tout en affirmant que les locomotives actuellement en usage sur la plupart des chemins de fer développent aisément un travail soutenu de 200 à 300 chevaux.

Des expériences faites sur le chemin de Lyon dans les mois de novembre et de décembre 1851, viennent démontrer le fait que nous avançons.

Dans ces expériences on avait intercalé, entre le tender et la première voiture, un dynamomètre à ressort qui traçait des diagrammes représentant le travail exercé par la machine sur le train.

On a multiplié ce travail par le coefficient 1,15 pour tenir compte des résistances dues à l'action de la vapeur sur le mécanisme, et l'on a ajouté 500 kilogrammètres par mètre parcouru par la machine qui exige un effort de traction de 500 kilogrammes sur niveau.

Divisant le nombre total de kilogrammètres ainsi obtenus par le temps de marche, le quotient a donné le travail par seconde en kilogrammètres.

Six expériences sur des trains directs marchant à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure, le poids du train étant de 107 tonnes, ont donné :

294 chevaux pour le travail total ;

161 chevaux pour le travail employé à remorquer les voitures.

Les quatre autres expériences ont été faites sur des trains-omnibus marchant à la vitesse moyenne de 38 kilomètres et demi à l'heure, avec une charge de voitures de 88 tonnes. Elles ont donné 248 chevaux pour le travail total, et 134 chevaux pour le remorquage des voitures seulement.

La consommation moyenne, par cheval et par heure, n'a été que de 2^{kg},05 de coke, ce qui semblerait indiquer que les machines locomotives travaillent, sous le rapport de l'économie du combustible, dans des conditions aussi avantageuses que la plupart des machines fixes sans condensation.

CHAPITRE XV.

DES NOUVEAUX SYSTÈMES ADOPTÉS OU PROPOSÉS DANS LE BUT DE PERFECTIONNER LE MATÉRIEL DES CHEMINS DE FER.

Après avoir décrit successivement toutes les parties dont se compose un chemin de fer construit dans les conditions ordinaires, il nous reste à nous occuper de plusieurs systèmes qui ont été proposés, soit pour vaincre certaines difficultés propres à une ligne donnée, soit pour remplacer complétement les appareils actuellement en usage.

Parmi ces systèmes, il en est quelques-uns qui ont été expérimentés sérieusement et reconnus réellement applicables au moins dans certaines circonstances spéciales; nous les étudierons avec soin et nous chercherons à faire ressortir autant que possible leurs avantages et leurs inconvénients.

Il en est d'autres qui n'ont pas reçu la sanction de la pratique ; ils sont nombreux, et la plupart ne méritent d'être mentionnés que pour être critiqués.

Les ingénieurs qui sont à la tête des grandes entreprises de chemins de fer sont continuellement en butte aux attaques des inventeurs qui les accusent de repousser systématiquement leurs idées par routine ou même par un sentiment mesquin de jalousie. Ils sont certainement peu disposés à faire sur une grande échelle des essais qui, s'ils ne sont pas couronnés de succès, peuvent compromettre gravement leur réputation, mais ils sont loin généralement de rejeter les procédés nouveaux qui peuvent être expérimentés sans trop de difficultés et qui leur semblent rationnels. Malheureusement, les inventeurs sont en très-grande majorité entièrement étrangers, et à la théorie et à la pratique, et les systèmes

qu'ils proposent d'appliquer, si la pensée qui les a enfantés n'est contraire aux principes les plus élémentaires, ne sont que la reproduction de systèmes abandonnés depuis longtemps, et c'est en vain que l'on chercherait à le leur faire comprendre.

Après avoir parlé de quelques dispositions proposées pour réduire le frottement sur la fusée de l'essieu, et faciliter le passage dans les courbes.

Nous décrirons dans ce chapitre :

1° Le système Laignel, qui a pour but de réduire la résistance au passage des courbes ;

2° Le système Arnoux, proposé pour le même objet ;

3° La machine locomotive Verpilleux ;

4° La machine locomotive à air comprimé de M. Andraud ;

5° La machine locomotive Jouffroy ;

6° La machine locomotive Seguier ;

7° La machine locomotive d'Amberger, Nicklès et Cassal, pourvue d'un appareil destiné à augmenter l'adhérence au moyen de l'électro-magnétisme ;

8° Le système atmosphérique par aspiration avec ses variantes ;

9° Le système atmosphérique par compression de Pecqueur et de Chameroy ;

10° Le système éolique ou nouveau système Andraud.

Nous dirons aussi quelques mots de l'emploi des locomotives sur les routes ordinaires.

Nous n'avons à parler ni des machines locomotives à air chaud, ni des machines électro-magnétiques, parce que jusqu'à ce jour aucun essai n'a été fait, à notre connaissance, pour appliquer l'air chaud ou l'électro-magnétisme comme moteur sur les chemins de fer.

Nous verrons que l'emploi de l'air froid comprimé a eu peu de succès par suite du volume considérable qu'il eût fallu donner au réservoir accompagnant la locomotive, pour ne pas être obligé d'en renouveler trop fréquemment le contenu. Il

semble qu'en employant l'air chaud on pourrait développer une plus grande puissance avec un réservoir d'un volume raisonnable, *toutefois si Erickson est parvenu à se servir avec quelque succès de l'air chaud sur les bateaux à vapeur, ce n'est qu'à la condition d'employer des appareils volumineux et encombrants, ce qui exclut l'usage de ces appareils pour la locomotion* [1].

Quant à ce qui est de l'électro-magnétisme, il paraît moins encore que l'air chaud applicable aux machines locomotives comme moteur. « M. Becquerel, dans un rapport à l'Académie des sciences (année 1854, p. 854), dit que M. Jacobi, qui a fait une étude approfondie de l'emploi de l'électro-magnétisme dans l'industrie, a été conduit à cette conséquence, *que l'effet mécanique ou le travail des machines électro-magnétiques, vu les dépenses qu'exige leur entretien, est de beaucoup inférieur à celui des autres moteurs usuels, mais que ce n'est pas là le dernier mot de la science.* »

Dans leur traité de l'électro-magnétisme publié en 1856, MM. Becquerel et Edmond Becquerel s'expriment dans les termes suivants : « On n'est pas parvenu à construire économiquement de puissantes machines ; on n'a utilisé que des électro-moteurs de peu de force pour faire tourner des tours et des métiers qui devaient marcher avec un mouvement rapide. »

M. Aristide Dumont enfin, dans une note lue à l'Académie des sciences, en 1851, indiquait que la production de force électro-magnétique conduisait à une dépense de 20 fr. par force de cheval et par heure, tandis que le coût du cheval avec une machine à vapeur dans les mêmes circonstances ne serait que d'environ 10 centimes !

1. L'emploi des toiles métalliques d'Erickson, dit M. Reech, dans une note qui fait partie des *Mémoires de l'Académie* (année 1853, pag. 528), n'empêchera pas une machine à air chaud, à cylindres et à pistons, d'être excessivement encombrante et volumineuse.

On a essayé dans le but de réduire le travail du frottement sur les fusées :

1° Des wagons à galets ;

2° Des wagons à rouleaux.

Dans les premiers, la caisse repose sur l'essieu par l'intermédiaire de galets (fig. 466). Le frottement de glissement n'a

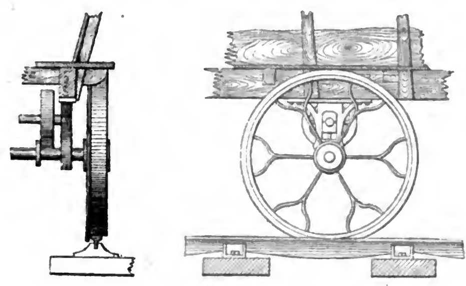


Fig. 466.

lieu dans ce cas que sur l'axe du galet. Nous avons vu, il y a vingt-cinq ans, des wagons présentant cette disposition sur le chemin de Bolton à Leigh. Ces wagons ont été représentés dans la traduction française du *Traité des chemins de fer de M. Wood*. On y a renoncé parce que le graissage des axes des galets n'était pas sans difficultés, et que d'ailleurs l'entretien de ces galets était assez dispendieux.

M. Émile Vissocq a proposé d'intercaler des rouleaux métalliques entre les fusées et les boîtes (fig. 467), ces rouleaux portant à leurs extrémités de petits tourillons qui s'engagent dans une couronne qui en maintient l'écartement. Le frottement de glissement se trouvait ainsi complétement supprimé et remplacé par un simple frottement de roulement.

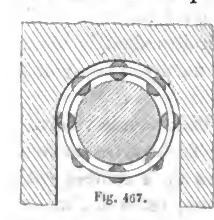


Fig. 467.

Quelque simple et satisfaisante que paraisse cette disposition,

elle n'a pas été adoptée par les compagnies de chemins de fer. Peut-être y aurait-il lieu de la soumettre à de nouveaux essais.

On a essayé, pour faciliter le passage dans les courbes, différents wagons avec essieux et roues mobiles mais ils avaient tous l'inconvénient de dérailler trop facilement. Le système de M. Arnoux est le seul qui ait obtenu quelque succès. On a aussi, pour supprimer le frottement de glissement occasionné par le parallélisme des essieux, employé des wagons tricycles, l'une des roues étant placée au milieu de la voie; mais il faut alors poser une troisième file de rails, et augmenter le poids des rails, puisqu'on augmente ainsi la charge sur chaque roue.

Système Laignel. — M. Laignel, pour diminuer la résistance au passage des courbes, remplace dans les parties sinueuses du chemin le rail extérieur par un rail plat à rebord, afin que les wagons ou machines reposent sur ce rail par le bourrelet des roues et sur le rail intérieur par la jante, ainsi que l'indique la fig. 468. Toutes les courbes, dans ce système, doivent avoir un rayon constant de 50 mètres, en sorte que, dans le cas des tracés à grandes courbes, les portions circulaires sont remplacées par un nombre suffisant de portions droites dont le raccordement a lieu au moyen d'arcs ayant un rayon constant de 50 mètres.

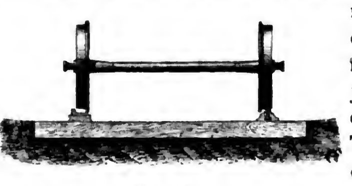


Fig. 468.

M. Laignel, en adoptant cette disposition pour la voie, a eu pour but de compenser, par la différence de diamètre des roues jumelles, la différence de longueur des deux courbes extérieures et intérieures, et comme les roues, celles des wagons du moins, sont à peu près toutes de même diamètre avec un

bourrelet de hauteur constante, il a fallu, pour obtenir cette compensation, adopter également un rayon de courbure constant. — Des expériences nombreuses ont prouvé que la résistance dans le système Laignel était en effet sensiblement diminuée, mais cela doit tenir non-seulement à la réduction opérée dans le frottement à la jante, mais encore et surtout à ce que ce système a pour propriété de diriger de lui-même le chariot en ligne courbe et de le faire tourner sans qu'il soit nécessaire pour cela que le rebord appuie contre la face verticale du rail, et qu'ainsi se trouve évité, dans de certaines limites de vitesse, le frottement dû à la force centrifuge.

La plus grave objection faite au système Laignel, est que, s'il diminue incontestablement le travail nécessaire pour opérer un certain changement de direction, il laisse encore subsister une résistance qui devient excessive par unité de distance parcourue dans des courbes dont le rayon ne dépasse pas 50 *mètres.* Aussi a-t-on employé ce système avec un avantage marqué sur des chemins où l'on marche à de petites vitesses avec des chevaux, comme par exemple sur ceux qui à la surface du sol servent à l'exploitation des mines d'Anzin ou au transport des produits des forges d'Hayange, mais on n'en a jamais fait usage sur de grandes lignes parcourues par des locomotives.

Le système Laignel soulève d'autres objections encore :

1° Le bourrelet des roues qui ne frotte que dans les courbes et le cercle qui frotte dans toute l'étendue du parcours des parties rectilignes et des parties courbes s'usent inégalement, d'où il résulte un changement dans le rapport du diamètre des roues avec ou sans rebord quand les roues sont usées, et par suite une augmentation de frottement dans des courbes dont le rayon a été calculé dans l'hypothèse de roues neuves ;

2° A l'entrée et à la sortie des courbes, la partie antérieure ou postérieure du wagon, se trouvant dans la courbe quand l'autre partie est en ligne droite, il arrive que trois roues reposent sur leur cercle et une seule sur le bourrelet. De là un

frottement de glissement momentané d'autant plus grand que le rayon des courbes Laignel est plus petit. Représentons-nous en effet les deux roues de devant dans la courbe (fig. 469), et celles de derrière en ligne droite. La roue r'' seule repose sur son bourrelet, les roues r, r', r''' reposent sur leurs jantes. La roue r''' devant suivre la roue r et roulant sur un même diamètre, fait nécessairement le même nombre de tours, mais alors la roue r, solidaire avec la roue r''' comme la roue r' l'est avec la roue r'', fait aussi un nombre de tours égal. Or, ceci ne peut avoir lieu sans que cette roue, qui doit suivre la roue r'', marchant sur son bourrelet, ne glisse en avant. Veut-on

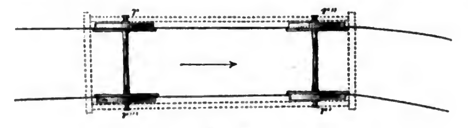


Fig. 469.

supposer la roue r faisant un plus grand nombre de tours pour suivre la roue r'' sans glisser, c'est alors la roue r''' qui, marchant plus vite que la roue r'' en tournant, glisse en arrière.

Système Arnoux. — Nous avons classé le système Arnoux parmi les nouveaux systèmes, bien qu'il soit appliqué depuis un certain nombre d'années déjà sur le chemin de Sceaux, parce que jusqu'à présent ce chemin, fort court, est le seul sur lequel il ait été employé exclusivement.

Les voitures de M. Arnoux, construites dans l'origine pour le chemin de Sceaux, présentent des dispositions qui diffèrent essentiellement de celles des wagons ordinaires.

Les trains de ces voitures, dont la construction a une grande analogie avec celle des voitures en usage sur les routes, se composent d'un avant-train et d'un arrière-train semblable au premier (fig. 470). Chaque essieu A, traversé par une cheville ouvrière, n'a que la liberté de tourner horizontalement sur

cette cheville. Les roues, montées à boîtes patentes et cylindriques, sont libres sur les fusées.

L'avant-train et l'arrière-train sont réunis par une flèche B

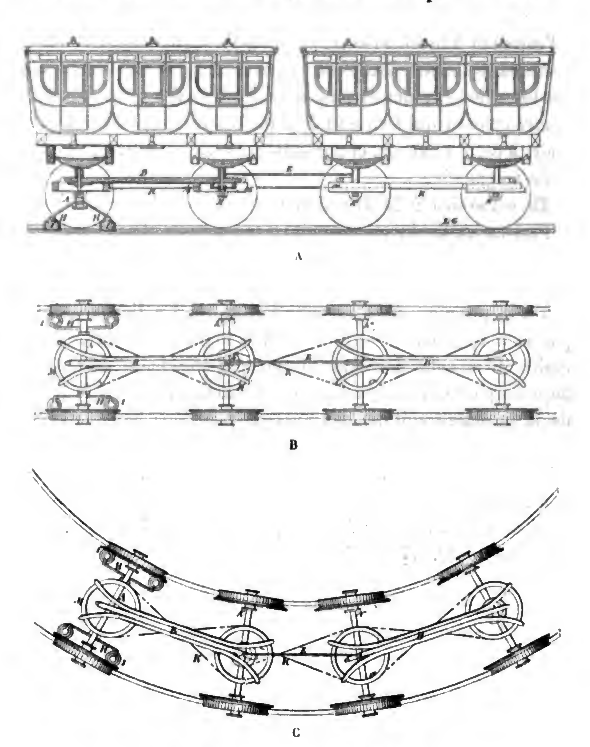


Fig. 470. *Voiture Arnoux (ancien système).*

traversée par les chevilles ouvrières partant des lisoirs, sur lesquels seraient placés les ressorts.

Les voitures sont unies entre elles par une tringle rigide E,

traversée par la cheville ouvrière de l'arrière-train de la voiture qui précède et par celle de l'avant-train qui suit.

Sous l'essieu d'avant-train de la première voiture se trouve une traverse qui passe dans deux brides, lesquelles imposent à l'essieu et à la traverse un parallélisme rigoureux. Cette traverse est terminée, à chaque extrémité, par une fourche dont les branches H, descendant à la hauteur des rails, portent quatre galets I qui touchent à peine les rails et donnent sans effort à cette traverse, et par suite à l'essieu, la direction normale au chemin.

De cet essieu A la direction symétrique est communiquée à l'essieu A' de la même voiture au moyen d'une chaîne K croisée et passant sur deux poulies M fixées à chaque essieu et d'égal diamètre.

De la première à la seconde voiture la traction s'opérant par la tringle E, la direction est communiquée au premier essieu A" de cette deuxième voiture par une chaîne croisée K, laquelle passe, d'une part, sur une poulie N fixée à la flèche de la première voiture et traversée par la cheville ouvrière de l'arrière-train, et d'autre part sur une poulie O', d'un diamètre double, fixée à l'essieu de l'avant-train de la deuxième voiture et également concentrique avec la cheville ouvrière. Et ainsi de suite, d'essieu à essieu, et de voiture à voiture.

On voit (fig. 471) qu'en communiquant de cette manière

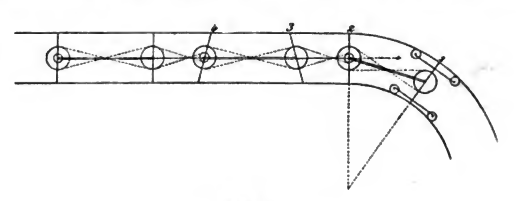


Fig. 471.

simultanément l'inflexion contraire aux deux essieux d'une même voiture, le second prend l'obliquité un peu avant son

entrée dans la courbe, et qu'en transmettant la direction aux essieux de la deuxième voiture par la flèche de la première, ces essieux la reçoivent un peu avant que cela ne devrait avoir lieu[1].

Il eût été plus convenable que cette direction normale à la courbe à parcourir ne se communiquât à chaque essieu qu'au fur et à mesure de son entrée dans cette courbe, et l'on y serait

1. La note suivante fournit la démonstration du principe sur lequel est fondé le mode de transmission du mouvement.

Soit *ab* (fig. 472), la flèche qui unit les deux essieux *tt* et *ss* d'une voiture, soit *bc*, la flèche d'une deuxième voiture avec ses essieux *ss* et *tt*.

Supposons un instant qu'il soit possible de supprimer l'espace qui sépare les voitures, le premier essieu *ss* de la deuxième voiture *bc* sera superposé au deuxième essieu *ss* de la première voiture *ab*; dans cette position, les deux

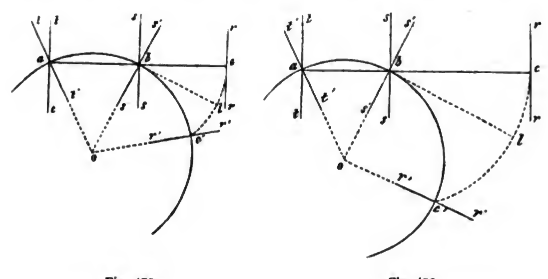


Fig. 472. Fig. 473.

voitures sont en ligne droite, tous les essieux sont perpendiculairement aux flèches.

Si du point *o*, comme centre, on fait passer une circonférence par les points *a* et *b*, et si l'on considère la première voiture placée sur cette courbe, les essieux *tt*, *ss*, devront prendre la direction *t't'o* et *s's'o*.

Supposons qu'on fasse prendre au train *bc*, de la deuxième voiture, la même position sur la courbe, *bc* devient *b'c'* et l'essieu *sbs* devient *s'b's'*, c'est-à-dire se confond avec le premier, auquel il était déjà superposé dans la première position.

Si, au point *b*, on mène la tangente *bl*, on trouve que dans ce mouvement l'essieu *bs* a décrit un angle *sbs'* égal à l'angle *cbl*; mais l'angle *cbl* est la moitié de l'angle *cbc'* décrit par la flèche de la deuxième voiture, et comme d'ailleurs

arrivé en plaçant sous chaque essieu l'appareil directeur indiqué pour le premier des essieux du convoi; mais outre que cela eut compliqué considérablement le système, on eut perdu l'avantage de la solidarité d'essieu à essieu et de voiture à voiture.

« L'obliquité dont il s'agit, dit M. Poncelet, dans un rapport à l'Académie, soulève contre le système Arnoux une objection que nous avons cru devoir signaler, et qui consiste en ce que, d'une part, cette obliquité engendre un léger frottement de glissement contre les rails, d'une autre, qu'elle donne lieu à une tendance des roues de l'arrière-train à les surmonter; circonstance tout à fait analogue à celle qui se présente pour le système ordinaire, dans les tournants, à cela près qu'ici l'obliquité, la déviation des roues se fait d'une manière progressive, et ne dure qu'un instant pour ainsi dire imperceptible ; car sa période d'accroissement et de décroissement se trouve accomplie, pour chaque voiture, aussitôt que l'arrière-train atteint, à son tour, la portion courbe du chemin ; elle n'a jamais lieu que pour trois essieux consécutifs du convoi, et elle ne se reproduit, en sens inverse, que quand les avant-trains quittent successivement la direction curviligne de ce chemin pour rentrer dans une portion rectiligne. Enfin, ces déviations, toujours fort légères, résultat nécessaire du changement brusque de courbure de la voie, peuvent être atténuées à volonté, au moyen d'un tracé convenable. »

Le système Arnoux, tel que nous venons de le décrire,

cette direction ne peut varier, quelle que soit la distance qui sépare les deux voitures, il en résulte que si l'on considère deux voitures consécutives, et qu'on suppose qu'au moment où la première entre dans une courbe, elle puisse communiquer aux essieux de la voiture qui la suit, un angle moitié de celui que décrit la flèche, ou l'axe de cette première voiture, les essieux de la deuxième auront pris une position normale à la circonférence.

Dans le cas où les flèches des voitures n'auraient pas la même longueur (fig. 473), *ab* étant la première et *bc* la deuxième, on trouverait que les angles décrits par les essieux seraient aux angles décrits par les flèches :: *cbl* : *cbc'*.

ne laisse pas que d'être assez compliqué, et ne permet de marcher à reculons qu'en modifiant la disposition des disques et des chaînes. M. Henri Arnoux fils l'a, dans ces derniers temps, considérablement simplifié et a rendu facile la marche dans les deux directions.

Dans ce nouveau matériel, les galets directeurs, les essieux et les roues mobiles ainsi que les timons rigides ont été conservés, mais les chaînes croisées et les disques qu'elles enveloppaient ont été supprimés, chaque essieu est dirigé par un appareil très-simple, représenté figure 474 [1].

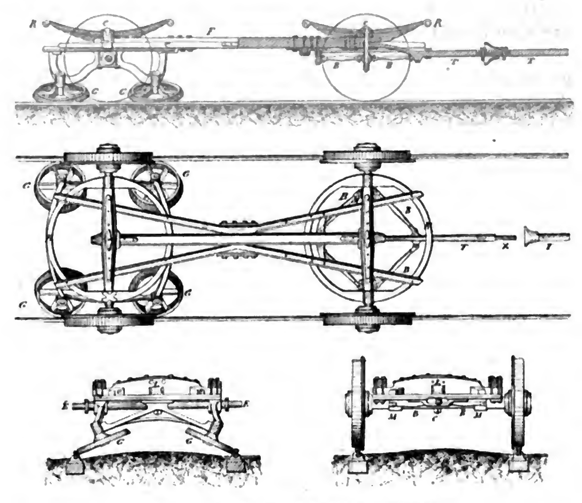


Fig. 474. *Voiture Arnoux (nouveau système).*

MM sont des manchons qui enveloppent les essieux en glissant sur eux dans le sens de l'axe.

BB représentent quatre bielles égales entre elles, disposées

1. L'angle *abg* (fig. 475), que fait alors la flèche avec la nouvelle direction de

en losange dans le plan horizontal qui passe par l'axe de l'essieu et de manière que celui-ci en forme une des diagonales.

Ces bielles sont fixées à charnière par leurs extrémités, savoir : les deux intérieures à la flèche et aux manchons MM, les deux extérieures aux mêmes manchons et au timon T.

Le timon et la flèche étant en ligne droite, les essieux sont tous parallèles entre eux et perpendiculaires à cette ligne droite; mais si le timon et la flèche viennent à s'incliner l'un sur l'autre, de manière à former un angle quelconque, ce qui arrivera quand on parcourra une courbe, l'essieu divisera cet angle en deux parties égales, comme l'indique la figure 476.

l'esssieu est égal à deux fois l'angle *fbe* que fait cette nouvelle direction avec l'ancienne.

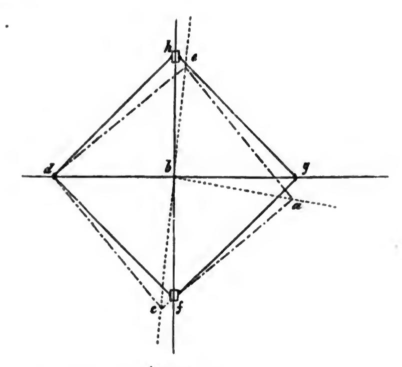


Fig. 475.

En effet, le triangle *abc* étant superposable au triangle *cbd*,

$$\text{angl. } abc = \text{angl. } cbd = \text{angl. } ebg;$$

$$\text{angl. } abc = \text{angl. droit} - \text{angl. } gba + \text{angl. } cbf;$$

$$\text{angl. } ebg = \text{angl. droit} - \text{angl. } ebh = \text{angl. droit} - \text{angl. } cbf;$$

d'où $$\text{angl. droit} - \text{angl. } gba + \text{angl. } cbf = \text{angl. droit} - \text{angl. } cbf.$$

et $$\text{angl. } abg = 2 \text{ angl. } cbf;$$

(c. q. f. d.).

Cette direction sera normale à la courbe parcourue; condition nécessaire pour éviter les frottements de glissement et les chances de déraillement.

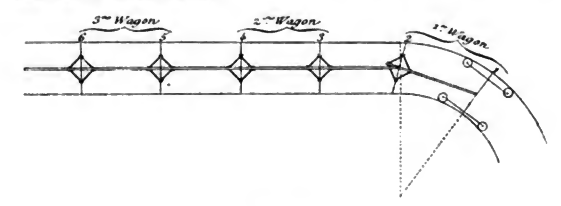


Fig. 476.

Le système Arnoux est certainement le plus remarquable qu'ait produit dans ces derniers temps le génie des inventeurs appliqué aux chemins de fer, et l'Académie en a dignement récompensé l'auteur en lui accordant le grand prix de mécanique.

On a adressé toutefois au système Arnoux plusieurs reproches, dont le principal consiste dans la difficulté que l'on éprouve à l'appliquer à des machines puissantes. Avec le matériel articulé, en effet, il paraît impossible de lier toutes les roues de la machine par des bielles, de manière à obtenir une grande adhérence, et ne pouvant obtenir une grande adhérence, on ne peut développer une grande puissance. La machine représentée, figure 477, et que nous avons décrite page 363, a été, à la vérité, construite dans ce but, mais jusqu'à présent, la pratique n'en a pas encore démontré l'efficacité. Le système Arnoux, employé dans un tracé à courbes de petit rayon, excluant l'emploi de machines puissantes, se trouve ainsi restreint aux convois de voyageurs, et encore ne se prête-t-il guère à la traction des convois lourds que l'on remorque ordinairement avec des machines mixtes. Il est d'autant plus fâcheux qu'il ne permette pas l'usage de machines puissantes, que la solidarité des voitures exige un accroissement d'effort au moment du départ.

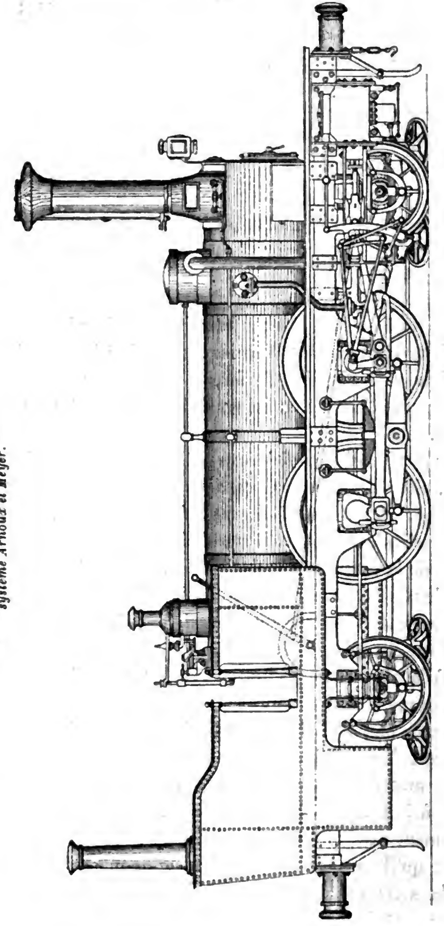


Fig. 477. *Machine locomotive articulée, système Arnoux et Meyer.*

Voici comment s'exprime le rapporteur de l'Académie au sujet de cette solidarité.

« Quoique le motif fondé sur l'influence de l'inertie, lors du premier ébranlement, n'ait d'importance que sous le rapport de la durée plus ou moins grande de l'action motrice et quoique les expressions de Coulomb, confirmées depuis par celles de M. Morin, tendent à prouver que le frottement des substances métalliques est le même à l'instant du départ qu'à l'état de mouvement; on doit cependant admettre que le système des wagons, par suite de la flexibilité et des inégalités de la voie, ou d'une cause d'adhérence accidentelle quelconque, peut, dans beaucoup de cas, offrir une résistance initiale moyenne, supérieure à la résistance moyenne, même en y comprenant celle de l'air, et sous ce point de vue nous accordons volontiers qu'il y ait de l'avantage à rendre les voitures indépendantes au moyen de chaînes de tirage. »

Toutefois, l'attelage au moyen de chaînes présenterait, suivant le savant auteur du rapport, des inconvénients plus graves encore, et l'on ne saurait objecter sérieusement au système Arnoux l'emploi des barres rigides. Les praticiens ne partagent pas tout à fait cette opinion; ils ont, à la vérité, renoncé aux chaînes, mais ils les ont remplacées par les tendeurs décrits page 134, et non par des barres rigides.

On a reproché au système Arnoux sa complication et la gêne qui pouvait en résulter pour le service ainsi que l'accroissement des frais d'entretien. M. Arnoux a déjà répondu en grande partie à ce reproche par la simplification importante qu'il a introduite dans la construction de son matériel.

Nous avons vu plus haut que, quel que soit le système employé, l'existence de petites courbes dans le tracé d'un chemin de fer devient toujours dangereuse quand on veut marcher à de grandes vitesses.

On a dit enfin, du système Arnoux, que l'emploi des galets pour diriger la première voiture aurait de graves inconvénients si cette voiture était fortement chargée. « La pression faisant

naître sur la sassoire ou les deux couronnes frottantes de ce train, dit M. Poncelet, une résistance très-grande, et dont le bras de levier est très-comparable à celui de la pression qui agit sur les galets, ceux-ci se trouveraient soumis à des efforts violents qui pourraient entraîner des ruptures dangereuses, et qui, dans tous les cas, donneraient lieu à d'énormes frottements et à une prompte usure des axes. » Ces inconvénients seront à peu près annulés si on a soin de ne charger la première voiture que très-légèrement, mais c'est là une véritable sujétion qui ne laisserait pas, en certains cas, que d'être gênante pour l'exploitation.

M. Arnoux a proposé d'employer son matériel articulé pour les trains légers, marchant à de grandes vitesses sur les lignes déjà construites avec des courbes de grand rayon, dans le but de diminuer l'usure des roues et l'effort de traction au passage des courbes. L'essai en a été fait sur le chemin de fer du Nord, et sur celui d'Orléans; il a été observé dans cet essai au chemin de fer d'Orléans : 1° que les voitures de ce système étaient moins douces que les autres, que l'attelage rigide nuisait à la souplesse du mouvement des véhicules, et de plus, que la disposition de la rondelle en bronze qui seule fixe les boîtes, et par suite les roues sur l'essieu, est une source de chauffages et de dangers, puisque cette pièce, faite de deux demi-circonférences réunies entre elles par des boulons, peut se déranger, se rompre, et, en tout cas, donne lieu à un frottement assez considérable.

2° Que les fusées fixes ne s'usant que sur l'une de leurs génératrices, et fonctionnant à l'inverse de ce qui se passe aujourd'hui, devront être trop fréquemment retouchées, que les pertes d'huile sont constantes, et qu'il n'existe aucun moyen de s'assurer que les fusées sont bien lubrifiées.

Il paraît enfin difficile d'admettre qu'un semblable système puisse être appliqué à un grand nombre de wagons, puisqu'il est impossible de s'assurer de l'état des pièces qui le composent sans passer sous le wagon pour les examiner.

Système Verpilleux. — Le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon présente de nombreuses courbes de petit rayon et des pentes très-fortes sur lesquelles on remorque des convois très-lourds. (Voy. vol. I, page 224.) Toutes ces circonstances forcent à employer des locomotives qui puissent exercer un effort de traction considérable. D'un autre côté, les rails sur cette ligne sont faibles et ne peuvent supporter qu'une pression fort limitée. L'adhérence nécessaire ne peut s'obtenir qu'en rendant motrices plusieurs paires de roues.

Quand le rayon des courbes est suffisamment grand, on peut coupler trois et même quatre paires de roues, mais dans le cas particulier qui nous occupe, cela n'était pas possible, à cause du grand écartement qui en serait résulté pour les essieux extrêmes.

M. Verpilleux imagina de placer sous le tender un mécanisme composé de cylindres, pistons, bielles, etc., en tout semblable à celui de la machine. Ces organes mettent en mouvement l'un des essieux du tender, lequel est à son tour couplé avec l'autre essieu. Ils permettent donc de doubler momentanément l'effort de traction de la machine sans surcharger en rien la voie. A cet effet, il suffit de faire passer une partie de la vapeur fournie par la chaudière dans les cylindres moteurs du tender.

Le système ingénieux de M. Verpilleux présente plusieurs inconvénients pratiques.

La chaudière ne pouvant pas avoir de très-grandes dimensions comme dans les machines Engerth, on ne saurait, avec ces machines, produire une grande quantité de vapeur, et on ne peut, par conséquent, marcher qu'à de très-petites vitesses. L'appareil moteur supplémentaire est d'un prix très-élevé. Il s'use aussi bien que celui de la machine et donne lieu à des frais de réparation considérables. Le tube qui amène la vapeur de la chaudière à ce mécanisme a jusqu'à six joints à presse-étoupes, disposition coûteuse et d'un entretien difficile. Nous en dirons autant du tuyau d'échappement qui ramène la vapeur du tender à la cheminée.

Locomotive à air comprimé de M. Andraud. — M. Andraud a imaginé de remplacer la vapeur par l'air comprimé. Sa machine est fort simple : elle consiste en un réservoir rempli d'air comprimé et en un mécanisme composé de cylindres, pistons, bielles et manivelles comme le mécanisme des machines ordinaires. L'air comprimé introduit dans les cylindres fait marcher les pistons par sa pression. La provision de fluide moteur est renouvelée au moyen de réservoirs fixes placés de distance en distance, que l'on alimente économiquement en tirant parti de moteurs souvent improductifs, tels que des chutes d'eau ou de rapides courants.

Supposons que l'air soit comprimé dans le réservoir mobile à 7 atmosphères, un mètre cube à 7 atmosphères est capable de produire le même travail qu'un mètre cube de vapeur à la même pression.

Mais l'eau qui, sous l'action de la chaleur, produira cette quantité de vapeur, occupe dans le tender un volume de 3 litres 50 centilitres seulement, volume qui est les 0,0035 de celui occupé par l'air, et le réservoir de la machine Andraud devra contenir 286 fois celui d'un tender ordinaire pour pouvoir fournir le même parcours. Il serait donc excessivement lourd et volumineux. Afin d'obvier à cet inconvénient, M. Andraud a imaginé de porter la pression de l'air à trente atmosphères ; mais alors le tender devrait être extrêmement résistant, ce qui le rendrait encore très-pesant.

Système Amberger, Nicklès et Cassal. — Un fil métallique, recouvert d'une matière isolante, contourné en hélice et traversé par un courant galvanique, se comporte tout à fait comme un aimant ; ainsi il attire le fer, et l'axe de l'hélice tend toujours à se mettre dans le plan du méridien magnétique. Si dans l'intérieur de cette hélice on place un morceau de fer doux, celui-ci devient à son tour un aimant dont la puissance croîtra avec le nombre de révolutions du fil et avec l'intensité du courant. Les deux pôles de l'électro-aimant se trouvent aux deux extrémités de l'axe de l'hélice.

Partant de ce principe bien connu de physique, MM. Amberger, Nicklès et Cassal eurent l'idée de rechercher s'ils ne pourraient pas entretenir la partie inférieure des roues motrices dans un état constant d'aimantation, ou en d'autres termes transformer les roues en électro-aimants à pôles mobiles.

Pour mettre cette idée à exécution, MM. Amberger, Nicklès et Cassal imaginèrent d'entourer la partie inférieure de la roue motrice d'une bobine en fil de cuivre recouvert de gutta-percha. Cette bobine en suit tous les contours à une faible distance et la roue se meut en dedans librement comme auparavant. Les deux extrémités de la bobine communiquent avec les deux pôles d'une pile voltaïque placée sur la machine.

Dès lors chaque roue motrice est transformée en un aimant dont les deux pôles se trouvent l'un au point de contact de la roue avec le rail, l'autre au point le plus élevé de cette roue.

Par ce moyen, MM. Amberger, Nicklès et Cassal ont obtenu les résultats suivants : Chacune des roues de $1^m,10$ de diamètre était entourée d'une bobine formée par un fil de cuivre d'un faible diamètre et de 250 mètres de longueur. On a fait passer par ces bobines un courant produit par une pile de 16 éléments de Bunsen, renfermés dans une boîte de 16 mètres de longueur sur $0^m,50$ de largeur et $0^m,45$ de hauteur. L'adhérence due au poids des roues était sur des rails secs de 350 kilogrammes, l'adhérence supplémentaire, obtenue au moyen de l'électro-magnétisme, de 450 kilogrammes. Par un temps de brouillard, 100 kilogrammes suffiraient pour vaincre l'adhérence des roues et les frottements de l'appareil, l'adhérence magnétique ne produit que 50 kilogrammes. Une couche épaisse de suif étendue sur la roue ferait tomber l'adhérence magnétique de 450 à 280 kilogrammes.

Le système Amberger, Nicklès et Cassal a été expérimenté sur le chemin de Lyon, mais il n'a pas donné de bons résultats. Les bandages des roues de locomotives étant en fer dur s'aimantaient bien, mais ils ne se désaimantaient pas assez

vite, de sorte qu'en marche les pôles se trouvaient plutôt sur le diamètre horizontal que sur le diamètre vertical.

Système Jouffroy. — MM. de Jouffroy et Séguier, dont nous allons décrire les systèmes, se sont proposé l'un et l'autre d'augmenter l'adhérence afin de gravir les rampes très-inclinées. Ils ont pour cela compliqué la construction des machines et celle de la voie inutilement, car la vapeur étant employée comme moteur, on ne peut développer une grande puissance qu'avec des machines lourdes, et ces machines ont généralement assez d'adhérence pour utiliser toute leur puissance. Si donc l'on abandonne la locomotive comme moteur dès que la pente dépasse certaine limite, ce n'est pas parce qu'elle manquerait d'adhérence, mais parce qu'alors la résistance occasionnée par la composante du poids de la machine parallèle au plan incliné étant considérable, le poids remorqué, eu égard à la puissance, devient trop faible. Si M. Engerth, dans ses machines, a adopté une disposition propre à augmenter l'adhérence, il a en même temps combiné son système de manière à augmenter la puissance. Les systèmes Jouffroy et Seguier n'offriraient des avantages sensibles qu'autant que l'on parviendrait à faire des machines également puissantes, mais plus légères, ce qui paraît à peu près impossible si l'on continue à se servir de vapeur comme moteur.

Nous ferons connaître d'abord le système Jouffroy.

L'appareil moteur de M. Jouffroy consiste en trois chariots à deux roues articulés entre eux. Le chariot d'avant B (fig. 478) porte le mécanisme moteur proprement dit, celui du milieu C la chaudière, celui d'arrière D le tender. Ces trois chariots sont reliés entre eux au moyen de charnières verticales d'une grande longueur.

Les wagons (fig. 479) se composent de deux caisses portées chacune sur deux roues de grand diamètre, libres sur leurs essieux et roulant sans glissement dans les courbes du plus petit rayon. Les essieux traversent les caisses des voitures. Les deux moitiés de wagons sont réunies entre elles au moyen

de charnières placées, l'une à la partie inférieure de la voiture, l'autre à la partie supérieure. Les axes de ces charnières se

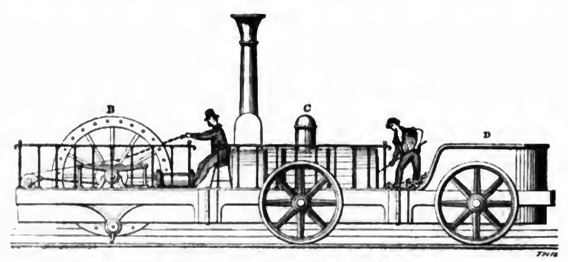


Fig. 478. *Locomotive de M. Jouffroy.*

trouvent sur une verticale qui vient rencontrer l'axe de la voie. Enfin les wagons sont attelés les uns aux autres au moyen de ressorts.

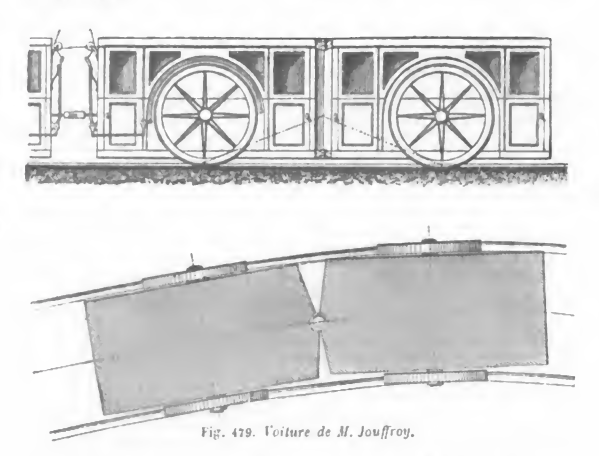


Fig. 479. *Voiture de M. Jouffroy.*

La voie a été portée par l'inventeur à la largeur de 2 mètres; elle se compose de traverses, coussinets et rails. Ces derniers,

de l'espèce dite à bandes plates (fig. 480) sont en fonte ; ils sont plats et munis de nervures intérieures hautes de $0^m,10$ à $0^m,12$. Les roues *aa*, entièrement cylindriques, sont maintenues latéralement par ces nervures. Dans l'axe de la voie se trouve un

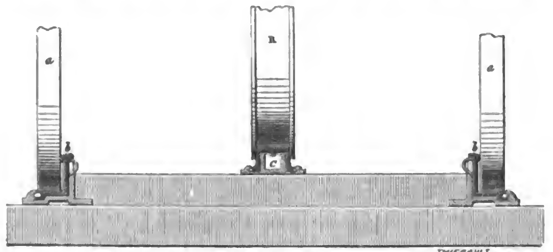


Fig. 480.

troisième rail *c* également fixé sur les traverses au moyen de coussinets. Ce rail est comme les premiers en fonte ; il est strié à la partie supérieure et reçoit l'action de la roue motrice de la machine.

Le châssis B (fig. 478 et 481) porte à sa partie postérieure deux cylindres qui agissent par l'intermédiaire de pistons, bielles et manivelles sur l'arbre *aa* (fig. 481) placé à l'avant.

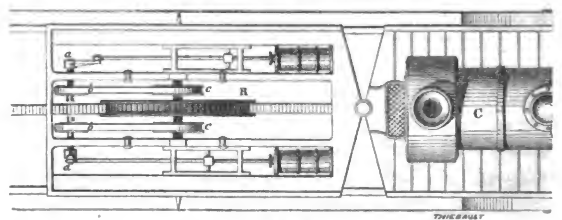


Fig. 481.

Au moyen de courroies, de chaînes et de poulies *bb*, *cc*, cet arbre transmet son mouvement à la roue motrice R. Cette roue est en fer avec jante en bois debout, elle appuie sur le rail strié *c* (fig. 480) et entraîne ainsi le convoi. Latéralement

elle porte deux joues en fonte ou en fer qui embrassent ce rail et s'opposent au déraillement. Deux petits galets fixés sur les longerons du châssis reposent sur les rails extérieurs et empêchent toute oscillation transversale.

Les poulies *bb* et *cc* sont des poulies à échelons, en sorte qu'en faisant glisser les courroies sur les différents échelons on peut obtenir des vitesses très-différentes de la marche du train pour un même nombre de coups de piston. M. de Jouffroy peut ainsi faire varier l'effort de traction de la machine, le travail de la vapeur restant constamment le même; en d'autres termes, il a construit un appareil qui, sur les paliers et les pentes descendantes, agira à la manière des machines à grande vitesse, et sur les rampes se comportera comme une machine à marchandises.

Nous ne saurions approuver le mode de construction de la voie Jouffroy, car nous avons indiqué que depuis longtemps les voies à bandes plates avaient été abandonnées à cause de la difficulté que l'on éprouve à en maintenir les rails dans un état de propreté convenable, et que l'on avait également renoncé aux rails en fonte, qui s'égrènent, se brisent, et en définitive sont, à résistance égale, plus coûteux que ceux en fer.

La disposition de l'appareil moteur nous paraît aussi essentiellement vicieuse. La chaudière reposant sur un essieu unique ne peut être très-grande, qu'à la condition de faire éprouver à la voie une fatigue excessive. La machine ne peut donc être très-puissante.

Il est permis de douter de l'efficacité du rail strié de M. de Jouffroy pour produire l'adhérence; tant que les stries de ce rail seront fraîches on pourra obtenir l'effet désiré, mais celles-ci ne tarderont pas à se remplir de poussière et de débris de la jante en bois; et dans cet état, la roue motrice, trop peu chargée, glissera. Si M. de Jouffroy était parvenu à soulager les rails en faisant supporter à chacun de ses essieux un poids moindre que dans les chemins de fer ordinaires, on comprendrait l'opportunité d'un appareil spécial destiné à pro-

duire une adhérence auxiliaire, mais nous avons vu qu'il n'en était rien. Il était donc inutile de recourir à de pareils moyens pour obtenir ce surcroît d'adhérence.

La transmission du mouvement par des chaînes ou par des courroies qu'emploie M. de Jouffroy, serait à elle seule l'objet d'une objection grave à son système. Dans les machines qu'on emploie actuellement sur les chemins de fer, le but qu'il se propose est atteint tout naturellement par l'emploi de la détente variable. De plus, quand on gravit une rampe, la vitesse du convoi diminue graduellement, et avec elle celle des pistons. La vapeur parcourt plus lentement les canaux qui la conduisent de la chaudière dans les cylindres, de sorte qu'elle arrive dans ces derniers à une pression bien plus élevée que lorsque la machine, marchant dans les conditions ordinaires, est animée d'une vitesse considérable.

Enfin, nous devons faire observer que si les roues libres et l'articulation des wagons font disparaître les résistances qui, au passage des courbes, résultent de la fixité des roues sur les essieux et du parallélisme des essieux, l'action de la force centrifuge subsiste.

Système Séguier. — Le système de M. Séguier a une certaine analogie avec celui de M. de Jouffroy. Les roues motrices de sa machine, distinctes des roues porteuses, sont horizontales ; elles sont pressées par d'énergiques ressorts, contre un rail central fixé solidement dans l'axe de la voie, et fonctionnent comme des cylindres de laminoirs. *Plus simple que le système Jouffroy, ce système a, comme nous l'avons déjà indiqué, un défaut qui lui est commun, celui d'augmenter sans utilité l'adhérence par une complication du mécanisme et de la voie.*

Les différents systèmes de locomotion à l'aide de machines locomotives décrits, il nous reste à parler des systèmes dans lesquels les machines fixes ont pris la place des locomotives.

Les principaux avantages que présente la substitution des machines fixes à ces locomotives sont les suivants :

1° Cette substitution permet de gravir de plus fortes pentes, puisqu'on n'a plus à se préoccuper du poids de l'appareil de locomotion, et par suite de réaliser des économies sensibles sur les travaux de construction.

2° Elle permet aussi d'adopter de faibles rayons de courbure, du moins en tant que l'on emploie le système atmosphérique[1].

3° Elle met à l'abri du danger des collisions entre les convois marchant en sens contraire ou dans la même direction. Elle empêche jusqu'à un certain point les déraillements.

4° Elle n'oblige plus à employer un matériel fixe, d'une solidité proportionnelle au poids des appareils de locomotion.

5° Enfin, dans le système des machines fixes, on peut multiplier les départs plus facilement que dans celui des locomotives.

Quant aux économies que peut procurer l'emploi des machines fixes dans l'exploitation, elles dépendent essentiellement du système employé.

Nous avons décrit, page 186, le système dans lequel la force développée par les machines fixes est communiquée aux convois au moyen de cordages, et qui est connu sous le nom de *système funiculaire*. Le système atmosphérique en diffère essentiellement par le mode de transmission de l'action du moteur aux wagons.

Système atmosphérique anglais. — Medhurst, ingénieur danois, a proposé déjà, en 1810, d'appliquer le principe du système atmosphérique au transport des marchandises, des lettres et des journaux. Mais il faisait voyager ces objets dans l'intérieur d'un tube au lieu de les placer à l'extérieur, comme nous le verrons plus loin.

Valence, plus tard, essaya de faire circuler les voyageurs même dans l'intérieur d'un tube en bois qu'il posa sur la

1. Sur le chemin atmosphérique de Kingston à Dalkey on trouvait des courbes de 175 mètres de rayon.

route de Brighton. Une pareille tentative ne pouvait être couronnée de succès.

Medhurst ensuite, perfectionnant ses premières idées, chercha à transmettre l'action d'un piston glissant dans un tube, à des wagons placés extérieurement, au moyen d'une tige se mouvant dans une ouverture ou rainure longitudinale pratiquée dans la partie supérieure de ce tube, rainure qu'il bouchait avec une soupape hydraulique. Cet appareil fut encore abandonné, parce qu'il ne pouvait être employé que sur un chemin constamment de niveau.

Un ingénieur américain, Pinkus, prit à Londres, en 1834, un brevet pour fermer la rainure longitudinale au moyen d'une soupape en corde ; mais cette soupape ne réussit pas mieux que la soupape à eau. Pinkus essaya ensuite de nouveaux moyens avec le même insuccès.

MM. Clegg et Samuda, enfin, imaginèrent une soupape qui est aujourd'hui employée sur le chemin de Saint-Germain, et dès ce moment le système atmosphérique fut en état de prendre place parmi les moyens de locomotion et rivalisa momentanément du moins avec le système des locomotives.

Il existe deux manières d'employer le système atmosphérique, celui *par aspiration* et celui *par compression*.

Le système par aspiration est le seul qui ait été appliqué sur une grande échelle. Il consiste à poser au milieu de la voie, dans toute la longueur du parcours, à quelques interruptions près, un gros tube en fonte dans lequel se meut un piston à la tige duquel est fixé l'un des wagons du convoi (fig. 482), par une barre d'attelage D. Une fente longitudinale ménagée à la partie supérieure du tube livre passage à cette barre. Entraînée par le piston en mouvement, elle glisse dans la rainure et entraîne elle-même le convoi. La rainure est recouverte par une soupape *a*. Cette soupape se soulève pour laisser passer la barre D et se referme en arrière. La machine fixe, à l'aide d'une pompe pneumatique, fait le vide dans le grand tube sur l'une des faces du piston, qui est alors chassé par la pression

de l'atmosphère agissant sur l'autre face. Le tube est fermé aux deux bouts par des soupapes spéciales. Tel est le principe du système atmosphérique par aspiration. Nous en compléterons la description en entrant dans quelques détails sur les différentes parties qui composent l'appareil.

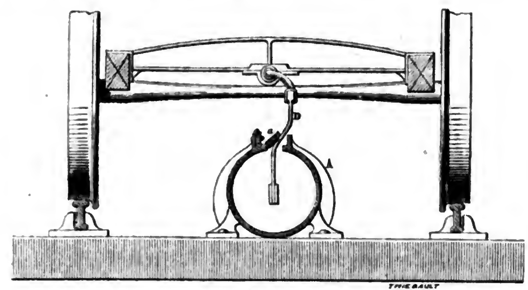


Fig. 482.

La soupape qui ferme la rainure n'est autre chose qu'une lanière en cuir continue (fig. 483), consolidée par des lames de fer *c* et *d* de même longueur, placées en dessus et en des-

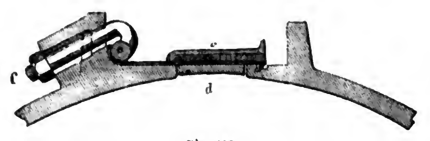


Fig. 483.

sous, et réunies par des rivets. La bande de cuir est fixée sur l'un des côtés de la rainure au moyen d'une tringle en fer *e*, serrée de distance en distance par des boulons à crochets *f*. Par ce moyen, la soupape forme charnière sur toute sa longueur, et comme elle, conserve une certaine flexibilité; elle peut livrer passage à la barre d'attelage tout en fermant exactement le tube à une faible distance, en avant et en arrière. Enfin, la fermeture est rendue aussi étanche que possible par

une composition de cire et de suif qui remplit la rainure g, et soude, pour ainsi dire, le cuir sur la fonte.

Le grand tube est composé de tubes partiels de 3 mètres environ de longueur, réunis par une emboîture garnie de filasse imbibée d'huile et de suif, qui forme un joint étanche tout en permettant les dilatations et les contractions du métal.

Le piston est double : il se compose essentiellement de deux espèces de calottes, de cuir embouti, fixées sur la tige. La disposition est telle que les bords s'appliquent par la pression de l'atmosphère contre les parois du tube, enduites préalablement d'une couche de graisse.

Des deux côtés et au droit de la barre d'attelage la tige du piston est munie de galets (fig.484) qui soulèvent la soupape avant le passage de la tige et la maintiennent ouverte sur une certaine longueur. Enfin, à l'extrémité opposée au piston se trouve un contre-poids qui équilibre tout l'appareil et empêche le piston proprement dit d'appuyer dans le bas du tube. La longueur de la tige doit être telle, que dans aucune circonstance la soupape ne puisse être soulevée au droit du piston.

La barre d'attelage n'a pas une épaisseur très-considérable, mais son excessive largeur la met pour ainsi dire à l'abri de toute chance de rupture. On a prévu du reste les effets d'une force vive qui serait le résultat, soit d'un obstacle sur le chemin de fer, soit de quelque entrave à la marche du piston dans le tube longitudinal ; la tige est reliée à cet effet au wagon directeur par un système d'assemblage dont l'organe principal est un boulon en bois qui se romprait par l'effet d'un choc violent, de telle sorte que le piston serait ainsi détaché de toutes les voitures du convoi. Les voitures, si l'arrêt provenait du piston et non d'un obstacle sur la voie, ne marchant plus alors qu'avec la vitesse acquise, pourraient être arrêtées immédiatement au moyen des freins. Le piston lui-même ne partirait pas comme un boulet pour aller jeter le désordre dans les stations voisines, comme on l'a indiqué. D'après les dispositions

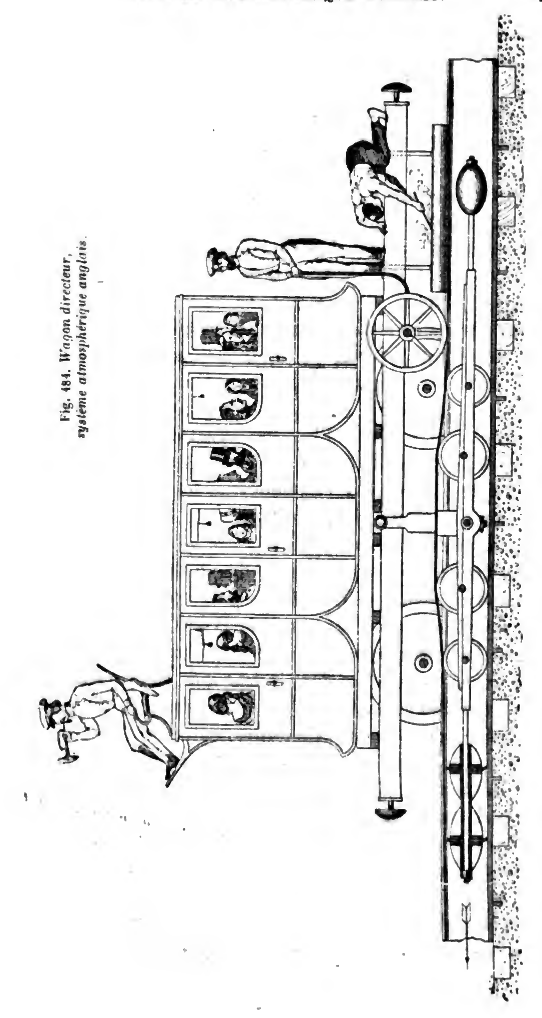


Fig. 484. Wagon directeur, système atmosphérique anglais.

adoptées, l'effet de la force vive suffirait pour permettre l'introduction de l'air à l'avant et annulerait ainsi complétement la vitesse.

La barre d'attelage est articulée sous le wagon placé en tête du train. A l'arrière de ce wagon, appelé *wagon directeur*, se trouve un galet manœuvré, soit à bras, soit par un contre-poids qui referme la soupape après le passage de la tige. Quelquefois on place sous le wagon directeur un petit fourneau chargé de combustible enflammé (voir la fig. 484), qui fond la graisse de la rainure et soude ainsi la soupape sur son siége après le passage du piston.

Dans les stations où le train doit pouvoir passer sur des voies de garage et aux passages à niveau où une route croise le chemin de fer, le tube est nécessairement interrompu. En ces points, le piston devra donc pouvoir entrer dans le tube et en sortir librement. Mais d'un autre côté, on ne peut faire d'avance le vide dans ce tube que s'il est exactement fermé à ses deux extrémités au moyen de soupapes, l'une dite d'*entrée* (fig. 485), l'autre dite de *sortie* (fig. 486.)

Les extrémités du tube sont évasées en entonnoir afin de faciliter l'entrée du piston. A une faible distance de l'entonnoir se trouve la soupape d'entrée, représentée fermée dans la figure A 485 et ouverte dans la figure B 485. Cette soupape se compose de deux parties O et N pouvant tourner autour d'un axe commun, la première dans le tube qui, en ce point, a ses parois verticales à partir du diamètre horizontal, la seconde dans une chambre semi-cylindrique venue de fonte sous le tube. Le vide étant fait en X et la capacité Z communiquant avec l'air extérieur (fig. A 485) par le tube Y et par l'orifice *b*, les faces de droite des deux soupapes seront pressées par l'atmosphère, tandis que leurs faces de gauche ne recevront que l'action de l'air raréfié en X. Au moment où l'on donne le signal du départ, on met en communication les deux orifices *a* et *b* au moyen d'un tiroir analogue à ceux des locomotives; l'air contenu dans la capacité Z se précipite dans le tube X,

et l'obturateur, pressé alors par l'air extérieur sur la face droite de la soupape O seulement obéit à cette pression, prend la position (fig. B 485) et livre passage au piston qui est aspiré aussitôt par le vide du tube. On ramène à la main et au moyen d'un levier la soupape à sa position (fig. A) aussitôt que le

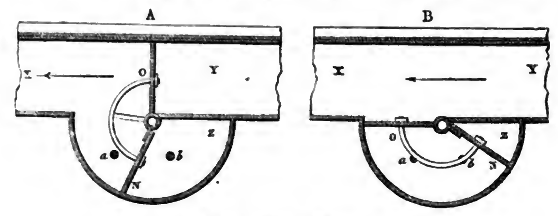


Fig. 485. *Soupape d'entrée.*

convoi est passé; quant à la manœuvre du tiroir, elle se fait tantôt à la main, tantôt par l'intermédiaire des roues du train qui pressent un levier saillant sur les rails H (fig. 488). Souvent la soupape N est remplacée par un piston qui se meut dans un cylindre dont la capacité supérieure s'ouvre dans le tube, tandis que la capacité inférieure close peut être, à volonté, mise en communication avec l'atmosphère ou avec le vide au moyen d'un tiroir. La soupape de sortie est plus simple; elle se compose d'un simple obturateur (fig. 486) tournant autour d'un axe horizontal placé dans le haut. Le tuyau, qui établit la communication entre la machine pneumatique et le tube s'embranche sur celui-ci à une certaine distance de la soupape. Tant que le piston se trouve en amont (à droite) de ce tube, l'air qu'il refoule devant lui est aspiré par la machine pneumatique, et la soupape reste appliquée sur son siége par l'effet de la pression atmosphérique qui agit sur la face gauche. Mais, dès que le piston a dé-

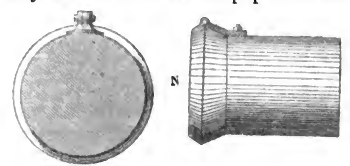


Fig. 486. *Soupape de sortie.*

passé le tuyau d'aspiration, l'air qu'il refoule devant lui augmente de pression parce qu'il cesse d'être enlevé par la machine, et sa tension finit par devenir supérieure à celle de l'atmosphère; alors la soupape se relève autour de son axe et donne passage au piston. Si le chemin était à une seule voie, il faudrait à chacune des extrémités du tube une soupape d'entrée et une autre de sortie.

Au chemin de Saint-Germain les dispositions du tube et de la soupape longitudinale sont sensiblement les mêmes que sur le chemin irlandais dont nous venons de décrire l'appareil. Le piston ainsi que les soupapes d'entrée et de sortie seules sont différents.

La description suivante de ce piston et de ces soupapes est extraite de l'excellent ouvrage de M. Armengaud, intitulé : *Publication industrielle des machines, outils et appareils.*

Le piston (fig. 487) est simplement composé d'une tige à fourchette F reliée par le boulon *a*, et par les boulons *b*, qui servent d'axes aux disques G. Cette tige se prolonge pour s'assembler avec le porte-galets et reçoit avec les attaches de la conduite ordinaire *r* des manomètres, le levier H qui sert à faire bas-

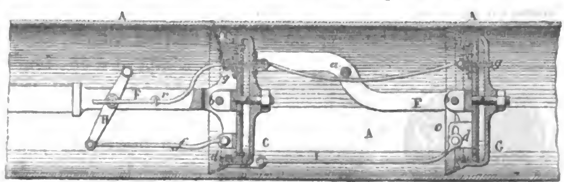


Fig. 487. *Piston du chemin de Saint-Germain.*

culer les disques ou plateaux autour de leur centre comme charnière, de manière à prendre une position oblique à la descente du wagon, laquelle position permet de ne pas retourner le piston et de ménager cependant les garnitures de cuir qui passent sans toucher et sans se rebrousser.

Cette disposition a permis de simplifier tout l'ensemble qui se compose maintenant de la tige F, et des deux disques pré-

cités G, formés d'une cuvette en fonte sur les bords de laquelle viennent se poser les garnitures embouties *c*. Un second disque intérieur *d*, formé de l'assemblage de feuilles de tôle, vient s'appliquer sur le côté opposé des cuirs et les serrer fortement par la tige taraudée *e*.

Voyons maintenant à l'aide de quels moyens on est parvenu à produire facilement la position d'obliquité. Le levier H forme la suite d'une longue tringle qu'on manœuvre de la plate-forme du wagon, et comme son extrémité inférieure porte la tige *f*, boulonnée à une saillie intérieure du premier disque, il s'ensuit que le mouvement imprimé à la première de ces pièces se reproduit sur le premier plateau, et par conséquent sur le deuxième qui s'y trouve relié par la bielle. On a eu le soin de tenir la conduite du manomètre un peu longue, afin qu'il n'y ait ni rupture ni allongement lors de l'opération ; cette conduite est d'ailleurs en tissus flexibles, imperméables à l'air et à l'eau, et est assemblée solidement avec les boîtes en bronze *g*.

Le train du wagon est disposé de manière à pouvoir :

1° Débrayer ou embrayer le piston à volonté ;

2° Modérer la vitesse de ses roues au moyen d'un frein puissant et énergique ;

3° Enfin, manœuvrer le galet de fermeture de la soupape longitudinale[1].

Lorsque le piston est introduit dans le tube, il s'agit de faire le vide devant lui ; mais pour le faire avec fruit, on intercepte toute communication au moyen d'une *soupape d'entrée*, et l'on fait agir le télégraphe électrique qui avertit qu'on doit mettre en mouvement les machines pneumatiques.

Cette soupape est représentée en détails, page 469 (fig. 488).

La fig. A en montre la coupe verticale, faite suivant l'axe du tube de propulsion.

La fig. B, une autre coupe verticale perpendiculaire à la précédente.

[1] Nous renvoyons pour de plus amples détails à l'ouvrage de M. Armengaud.

Et enfin la fig. C, une élévation extérieure parallèle à la fig. A, et vue du côté du mécanisme.

Nous supposons un train montant à Saint-Germain : lorsqu'on a fermé la soupape en agissant sur le levier B, elle intercepte la communication entre la partie du tube dans laquelle on fait le vide, et celle dans laquelle se trouve le piston, et par suite le convoi. A la première évacuation d'air enlevé par les premiers coups de piston des pompes pneumatiques, l'équilibre de pression étant rompu sur les deux faces du clapet ou soupape d'entrée O, cette dernière, basculant librement autour de l'axe *j*, qui lui sert de charnière, tend à retomber à sa position normale, car elle n'est retenue que par le secteur en fonte *k* et son contre-poids *l*, qui deviendraient bientôt insuffisants. On a donc été dans l'obligation d'exercer sur la face en contact avec la partie purgée, une pression factice qu'on est maître d'établir ou de retirer à volonté. Voici ce qui a été imaginé à cet effet : la partie du tube de propulsion dans laquelle se meut la soupape d'entrée est munie à sa base d'une tubulure *m*, à laquelle est boulonné le cylindre D. L'intérieur de celui-ci, fondu avec un orifice supérieur *n*, et un orifice inférieur *o*, ouverts à l'air libre, reçoit le piston à garniture de cuir E, qui se relie avec le clapet C par la bielle ou tige F, ce qui rend le mouvement de ces deux pièces dépendants l'un de l'autre. Or, si l'on veut empêcher la soupape de retomber par l'aspiration de l'air du tube, on découvre l'orifice *o*, et l'on ferme l'orifice *n*, au moyen du tiroir *p* ; l'air se précipitant sous le piston E, agit sur toute sa surface ; et, comme celle-ci est sensiblement plus grande que celle du clapet d'entrée, on conçoit qu'il la maintient fermée avec une force dépendant à la fois de l'excédant de cette surface, de la perfection du vide dans le tube de propulsion, et du poids *l*, multiplié par la longueur du bras ou secteur *k*. Lorsque ce vide est obtenu à un degré convenable, il faut baisser la soupape pour donner passage au convoi ; à cet effet, on change la position du tiroir *p*, qui met alors en communication les deux orifices *n* et *o* ;

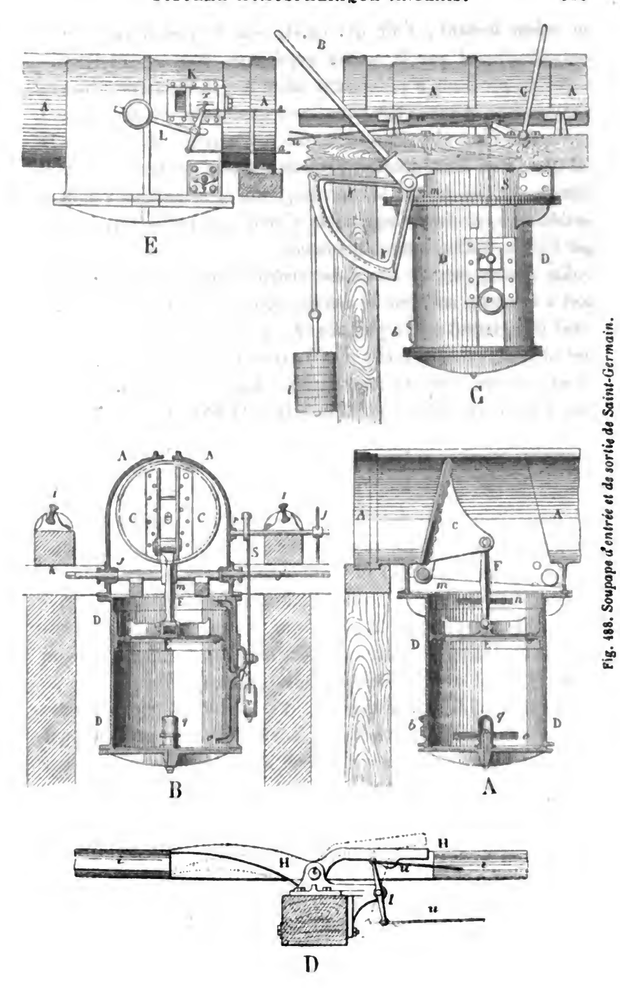


Fig. 488. Soupape d'entrée et de sortie de Saint-Germain.

au même instant, l'air qui existe sur le piston est aspiré instantanément par la partie supérieure purgée, et l'équilibre de pression s'établissant bientôt, la soupape s'ouvre d'elle-même et sans choc pour livrer passage au piston moteur.

En cas d'accident ou de fausse manœuvre, le cylindre D est garni à sa base d'une espèce de tampon ou ressort métallique *q*, qui amortirait le choc du piston si ce dernier venait à se détacher, et d'une soupape de sûreté *b*, qui laisserait échapper l'air lors d'un faux mouvement.

La manœuvre du tiroir de distribution d'air *p* s'effectue soit à la main, soit par le convoi même. Dans le premier cas, c'est en agissant sur la poignée G que l'on fait mouvoir l'axe qui le porte, la manivelle *r* et la tige à contre-poids S; dans le second cas, c'est au moyen d'un mécanisme particulier et fort ingénieux dessiné en détails (fig. D 488). Il se compose d'un double levier, à encoches H, situé à quelques mètres de la soupape qu'il commande, entaillé dans les rails *i*, et oscillant autour de son point fixe. Lorsque la première roue du convoi fait baisser la partie recourbée de ce levier, sa partie opposée qui, munie d'encoches, retenait le moulinet I, le laisse échapper en se soulevant pour lui faire prendre la position indiquée en ponctué; mais chaque extrémité de ce moulinet correspond avec un long et fort fil de fer *u*, qui, se croisant dans le milieu de sa longueur, s'attache à un second moulinet J, qu'on voit représenté fig. B 488; il s'ensuit donc que l'oscillation de ce dernier a fait agir le tiroir *p*, que le poids *v* tend toujours à faire descendre, et a fermé la communication de l'air pour établir celle du vide. On remet à la main les choses dans leur état primitif avec l'aide du levier G.

La soupape intermédiaire, qui n'existe pas dans la portion exploitée du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain, mais qui existe dans le projet, devait servir à limiter la sphère d'action de chaque machine motrice, et devait se manœuvrer d'une manière analogue, sauf quelques petites particularités dont la principale était la boîte à tiroir qui, au lieu

de se trouver en communication avec l'air, l'était au contraire avec la portion purgée du tube par un tuyau recourbé : son principe, son mouvement, son but, étaient d'ailleurs les mêmes que précédemment.

La soupape de sortie est placée presque à l'extrémité du tube d'arrivée à Saint-Germain et au delà de l'embranchement souterrain qui sert à l'évacuation de l'air. Disposée sur des principes analogues aux soupapes que nous venons d'examiner, elle se manœuvre néanmoins sans l'aide de piston auxiliaire ou de contre-poids, comme nous allons le voir ; nous l'avons représentée figure E 488.

Cette soupape, oscillant avec l'axe *y*, sert à limiter la dernière sphère d'action des machines pneumatiques ; à cet effet et toujours dans la supposition d'un train montant à Saint-Germain, elle affecte la position indiquée en ponctué, de sorte qu'elle est maintenue dans cette position par la pression atmosphérique qui agit sur une de ses faces. Lorsque le convoi arrive et dès qu'il a dépassé le tube d'aspiration des machines pneumatiques, placé en deçà de la soupape de sortie, le tiroir *x* s'ouvre comme une glissière à l'aide d'un levier à encoches semblable à celui que nous avons décrit plus haut et dégage l'orifice *z*, dont est percée la boîte K. Cette manœuvre, qui s'effectue par l'équerre à contre-poids L, et les fils ou tringles *a*, a pour résultat de permettre à l'air extérieur de pénétrer dans la portion du tube comprise entre la soupape et le piston moteur, de sorte que cet air, refoulé de plus en plus contre la soupape, acquiert bientôt une pression capable de faire baisser celle-ci sans aucun mécanisme, et débarrasse ainsi le convoi de tout obstacle, lui laissant continuer sa marche par la seule vitesse d'impulsion jusqu'à la sortie du tube.

Dans les gares, les voies sont disposées comme dans les chemins à locomotives. A chaque branchement le tube est interrompu, et le convoi ayant à sa tête le wagon-directeur qui porte le piston, franchit l'interruption du tube en vertu de sa vitesse acquise. Pour rendre les manœuvres possibles, il faut

nécessairement que chaque tronçon de tube communique par ses deux extrémités avec la machine pneumatique, et il faut de plus que cette communication puisse être interrompue à volonté, d'un côté ou de l'autre. Enfin, comme dans les manœuvres de gare, il faut souvent parcourir la même voie en sens inverse à de très-courts intervalles, il faut être en état de faire le vide très-rapidement dans chaque tube, ce qui force à établir une machine puissante à chaque station.

Les passages à niveau se construisent de deux manières différentes : ou l'on pose les rails et le tube au fond de rigoles profondes que l'on recouvre, pour donner passage aux voitures, de plaques de tôle épaisses que l'on fait enlever par le gardien du passage à niveau à l'approche du convoi (fig. 489), ou bien

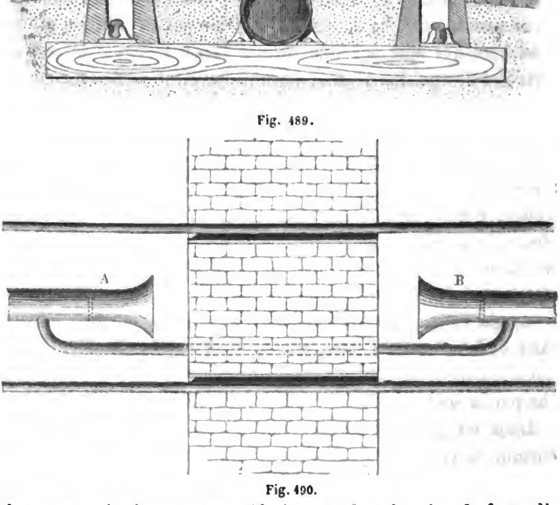


Fig. 489.

Fig. 490.

le passage à niveau ressemble à ceux des chemins de fer ordinaires, et le tube, interrompu sur toute la largeur de la route,

est muni de une ou deux soupapes à ses extrémités, selon que le chemin est à une ou deux voies. Les deux portions du tube sont alors mises en communication par un conduit souterrain (fig. 490).

Nous n'entrerons dans aucun détail à l'égard des machines pneumatiques employées à faire le vide dans le tube ; ces machines ressemblent beaucoup aux souffleries des hauts fourneaux, si ce n'est que leur action est inverse, puisqu'elles aspirent l'air dans le tube pour le refouler ensuite dans l'atmosphère, tandis que les machines soufflantes des usines métallurgiques puisent l'air dans l'atmosphère pour le lancer ensuite sur le combustible en ignition.

L'écartement des machines fixes ne peut être déterminé d'avance; néanmoins, il convient de ne pas les placer à de trop grandes distances les unes des autres, afin que le frottement qu'éprouve l'air lancé par le piston en se mouvant dans le tube n'exerce pas une contre-pression trop considérable.

M. Arnollet a proposé d'accumuler la force motrice dans des réservoirs clos afin de profiter de tout l'effet des machines et d'obtenir une raréfaction disponible constante. Ce système ingénieux, dont M. Lamé a fait l'éloge dans un rapport à l'Institut, n'a pas cependant, à notre connaissance, reçu d'application.

La figure 491 représente l'ensemble d'un chemin établi dans le système atmosphérique avec voie d'évitement.

Sur les chemins à pente forte, comme celui du Pecq à Saint-Germain, un seul tube suffit. La descente s'opère par l'impulsion seule de la gravité. Mais sur des pentes faibles il paraît difficile d'exploiter régulièrement un chemin de fer sans établir un double tube.

En 1844, au moment où l'attention du public était le plus vivement attirée sur le système atmosphérique, M. Robert Stephenson rédigea un mémoire sur les avantages et les inconvénients du système atmosphérique comparé au sys-

tème funiculaire et au système des locomotives. Personne mieux que lui n'était capable d'étudier cette question, mais on lui reprocha d'être partial à l'égard du système des locomotives, pour lequel on prétendait qu'il avait toute l'affection d'un père.

L'essai fait depuis lors du système atmosphérique a prouvé cependant que ses conclusions étaient, pour la plupart, parfaitement justes. C'est pourquoi nous croyons devoir les reproduire.

1° Le système atmosphérique n'est pas un mode économique pour transmettre le pouvoir moteur, et il est inférieur, à cet égard, aux locomotives et aux machines stationnaires avec cordages;

2° Il n'est pas capable d'acquérir et de maintenir dans la pratique de plus hauts degrés de vitesse que ceux qu'on obtient par le service actuel des locomotives;

3° Il ne produirait pas, dans la majorité des cas, une économie dans la construction primitive de la voie et dans beaucoup d'autres il augmenterait matériellement les frais d'établissement;

4° Le système atmosphérique serait le plus convenable sur quelques chemins de fer de courte étendue, où le mouvement de circulation est considérable et permet d'avoir des trains d'un poids modéré, mais exigeant de grandes vitesses et de fréquents départs lorsque, en outre, la surface du pays est de nature à ne pas permettre des pentes convenables pour les locomotives;

5° Le système atmosphérique pourrait être avantageusement appliqué sur de courtes lignes

Fig. 491.

de railways, par exemple sur celles de 7 à 8 kilomètres, dans le voisinage des grandes villes, où l'on a besoin d'une communication fréquente et rapide, mais seulement entre les stations principales;

6° Le système atmosphérique est inapplicable sur de courtes lignes, comme celle de Blackwall, où le mouvement de circulation provient principalement de points intermédiaires et où l'on a besoin de points d'arrêt fréquents entre les stations principales ; ce système étant de beaucoup inférieur à celui qui consiste à détacher les voitures d'une corde pour la commodité du trafic immédiat ;

7° Sur des longues lignes de chemins de fer, on ne peut desservir un grand trajet avec un système aussi peu flexible que le système atmosphérique, où l'opération efficace de l'ensemble dépend de l'exécution parfaite de chacune des sections individuelles du mécanisme.

La comparaison des frais d'établissement et d'exploitation du système atmosphérique et du système funiculaire a été établie par M. Stephenson, en prenant pour base de ses calculs pour le système funiculaire, les dépenses faites pour la construction et pour l'exploitation du plan incliné de Euston, sur le chemin de Birmingham et pour le système atmosphérique celles faites pour la construction et l'exploitation du chemin de Dalkey à Kingstown. Il a eu égard, bien entendu, aux conditions différentes dans lesquelles se trouvait la voie sur les deux lignes.

En ce qui concerne la comparaison entre la dépense d'établissement et d'exploitation dans le système des locomotives et dans le système atmosphérique, il a pris pour base de ses estimations la dépense de la locomotion au moyen de locomotives sur le chemin de Londres à Birmingham, et celle de la locomotion, au moyen de l'appareil atmosphérique, sur le chemin irlandais.

Aujourd'hui que les locomotives ont été considérablement perfectionnées, les résultats de calculs semblables seraient bien

plus favorables au système des locomotives qu'ils ne devaient l'être en 1844, époque à laquelle M. Stephenson a publié son mémoire.

La comparaison du système atmosphérique au système funiculaire a été faite aussi par deux ingénieurs belges, M. Maus, ingénieur des ponts et chaussées de Liége, aujourd'hui inspecteur général en Piémont, et M. Belpaire, ingénieur-mécanicien. Ces messieurs, envoyés, en 1846, par le gouvernement belge en Irlande, pour y étudier le système atmosphérique dans le but d'établir cette comparaison, ont rédigé, à leur retour, un rapport dont voici les conclusions :

« 1° Considéré sous le rapport théorique, l'air dilaté, employé par MM. Clegg et Samuda, comme moyen de transmission de mouvement, peut restituer tout l'effet dynamique dépensé à le raréfier, sans autre perte de force que celle employée à dilater le volume d'air contenu dans le cylindre de la pompe pneumatique ;

« 2° En pratique, on n'obtient, sur le chemin de Kingstown à Dalkey, qu'un effet utile, qui peut varier de 0,19 à 0,20, selon le degré de dilatation de l'air.

« En supprimant la conduite établie entre la pompe et le tube pneumatique ou propulseur, l'effet utile augmenterait et varierait de 0,25 à 0,31.

« Enfin, s'il n'existait ni conduite intermédiaire ni rentrée d'air, l'effet utile s'élèverait entre 0,31 et 0,40.

« Les différences entre l'unité et les nombres 0,69 et 0,60, expriment donc les pertes de force dues aux frottements et résistances divers, tant de la machine motrice que de la pompe pneumatique.

« 3° L'effet utile est à son maximum lorsque l'air intérieur a une tension $0^{at},55$, et correspondrait à la tension intérieure de $0^{at},44$, s'il n'y avait pas de rentrée d'air.

« 4° Appliquant la machine de Dalkey à des tubes de diverses longueurs, l'effet diminue en raison de la longueur du tube, dans une proportion d'autant plus rapide que l'air est

plus dilaté ; le maximum qui, pour la longueur de 1 kilomètre est 0,35, devient 0,24 pour 5 kilomètres ; le degré de dilatation est, en outre, limité par la longueur du tube : ce degré, pour une longueur de 5 kilomètres, ne peut guère dépasser 0^k,375, qui correspond à une pression dynamique sur le piston de 0^{at},625.

« 5° Le système de traction de MM. Clegg et Samuda, comme tous les autres systèmes, exige une dépense qui croît avec la vitesse.

« 6° Le système atmosphérique, agissant d'une manière intermittente et n'exerçant que des efforts assez faibles, exige une double voie plus impérieusement que les câbles.

« 7° Lorsque l'on emploie les câbles pour transmettre des efforts à de grandes distances, l'effet utile décroît à mesure que la vitesse et la longueur augmentent, mais dans une proportion différente, et qui est plus rapide pour la vitesse que pour la longueur.

« L'effet utile dépend d'ailleurs du rapport que l'on établit entre la résistance produite par le poids des convois et les résistances passives du mode de transmission.

« L'effet utile des machines des plans inclinés de Liége, remorquant des convois ordinaires de 50 à 60 tonneaux, à la vitesse de 20 kilomètres, est de 0,68, et pour un parcours d'environ 2000 mètres ; cet effet utile se réduirait à 0,558 pour une vitesse double, et à 0,636 pour une longueur double.

« 8° Établissant le parallèle entre les câbles et le système atmosphérique, en rendant les conditions aussi égales que le permet la nature différente de ces deux modes de traction, nous trouvons que, pour desservir une distance de 3 kilomètres appartenant à une grande ligne à double voie, la force motrice pour le système atmosphérique est à celle qu'exigent les câbles, dans le rapport :

De 100 à 27	pour des vitesses de	20	kilomètres à l'heure.
De 100 à 61	—	40	—
De 100 à 99	—	60	—

« L'effet utile, dans le système atmosphérique, est à l'effet utile des câbles, dans le rapport :

De 100 à 274 pour des vitesses de 20 kilomètres à l'heure.
De 100 à 143 — 40 —
De 100 à 89 — 60 —

« 9° Les frais d'établissement des moteurs étant sensiblement, dans les deux systèmes, proportionnels à leur puissance, les câbles ont sur le nouveau système un avantage très-grand pour une faible vitesse, qui décroît à mesure qu'elle devient plus considérable, et l'égalité s'établit à la vitesse d'environ 60 kilomètres à l'heure.

Les frais d'établissement des tubes, comparés aux câbles et leurs poulies de support présentent une différence considérable qui ne s'élève pas à moins d'un demi-million par lieue de 5 kilomètres.

10° Les frais d'exploitation comprennent, de part et d'autre, le combustible ; puis, dans le système atmosphérique, les frais de graissage et de surveillance des tubes, l'entretien et le renouvellement des cuirs des pistons et clapets, et, pour le système des câbles, le graissage des poulies de support, l'entretien et le renouvellement des câbles.

« Comparés sous le rapport de la dépense en combustible, les câbles présentent sur le système atmosphérique une économie d'autant plus grande que la vitesse est moindre ; il y a égalité lorsque la vitesse est de 55 kilomètres à l'heure, et avantage en faveur du système atmosphérique pour des vitesses plus grandes ; quant aux autres chapitres de dépense, l'expérience ne permet pas encore d'établir un chiffre exact ; mais la différence en faveur de l'un ou de l'autre système, eu égard aux frais de surveillance des tubes, est peu considérable.

« 11° Sous le rapport de la sécurité, les câbles nous semblent offrir les mêmes avantages que le système atmosphérique.

« De ce qui précède il résulte :

« Que sur les portions de chemin faiblement inclinées, ayant égard seulement aux frais d'établissement et d'exploitation, le

système des locomotives est préférable au système atmosphérique.

« Que sur les portions dont l'inclinaison atteint trois centimètres, les frais d'établissement et d'exploitation sont inférieurs pour le système atmosphérique.

« Que dans l'état actuel de perfection des deux systèmes atmosphérique et funiculaire, les câbles permettent d'obtenir les divers degrés de vitesse en usage et que l'on ne peut dépasser sans accroissement de dépense, avec la même sécurité et des frais d'exploitation notablement inférieurs, lorsque la vitesse est de 20 kilomètres à l'heure; égaux, lorsque cette vitesse est de 55 kilomètres, et supérieurs au delà de cette limite; mais la différence favorable dans ce dernier cas est trop faible pour justifier l'excédant considérable de dépense d'établissement qu'exige le système atmosphérique, qui ne nous paraît, en conséquence, pas susceptible d'une utile application au service ordinaire des chemins de fer.

Bruxelles, le 3 février 1845.

Mais les considérations précédentes ne sont pas les seules qui peuvent influer sur le choix du système de locomotion. Il en est d'autres que l'on doit faire entrer en ligne de compte pour adopter ou pour rejeter le système atmosphérique.

Telles sont les suivantes :

1° On reproche au système atmosphérique, aussi bien et plus encore qu'au système funiculaire, de mal se prêter aux exigences d'un service très-actif. C'est surtout pour le service des grandes gares de voyageurs et de marchandises où les machines concourent avec les hommes à la manœuvre des convois que l'appareil atmosphérique paraît incommode. Admissible peut-être dans certains cas particuliers pour une ligne courte, il présenterait dans son application à de grandes lignes les inconvénients les plus graves.

2° Si le système atmosphérique admet les courbes de petit rayon, il n'en est pas de même du système funiculaire. Ces

courbes augmenteraient beaucoup la résistance et l'usure des câbles; aussi a-t-on dépensé des sommes considérables pour les éviter sur les plans inclinés de Liége.

3° Il n'est pas aussi facile, dans le système des machines fixes, d'augmenter à volonté ou de diminuer la force motrice que dans celui des locomotives. L'accroissement du travail journalier avec les machines fixes a une limite, tandis qu'avec les locomotives le travail peut subir une augmentation indéfinie.

4° L'établissement des passages à niveau, sans être impossible avec le système atmosphérique, est plus difficile que dans celui des locomotives.

5° Nous avons vu que, dans le cas où un convoi vient à rencontrer un obstacle sur la voie, le piston du système atmosphérique s'en détachait sans grand effort; mais ce choc n'en a pas moins lieu, et il ne peut être atténué qu'au moyen des freins, tandis que dans le système des locomotives on emploie la machine elle-même pour arrêter le convoi à une certaine distance de l'obstacle.

M. Robert Stephenson, dans l'intéressant rapport que nous avons déjà cité, s'exprime dans les termes suivants, sur les difficultés qu'offrirait l'exploitation d'une grande ligne par le système atmosphérique.

« Nous arrivons maintenant à la question d'exactitude relative, et nous voyons que sur ce point le rapport renferme certaines considérations ayant rapport à l'application pratique du système atmosphérique, lesquelles militeraient très-sérieusement contre lui, quand bien même la première dépense et les frais d'exploitation seraient en sa faveur. J'ai déjà donné les raisons, dit M. Stephenson, pour lesquelles je regarde une double série de machines comme nécessaire pour exploiter une ligne comme celle de Londres à Birmingham ; mais je n'ai fait, dans cette partie du rapport, aucune attention à l'importance d'une double série de machines pour la question d'exactitude, parce que je me bornais alors aux considérations

qui affectaient les premiers frais d'établissement et la non-rencontre des trains se dirigeant dans des directions opposées.

« En examinant le système sous le rapport de l'exactitude du service, nous remarquons, qu'à chaque distance de 3 à 4 milles, les trains sont transférés d'une machine à vapeur à une autre ; que chaque train, en s'avançant entre Londres et Birmingham, passerait, pour ainsi dire, par 38 systèmes différents de mécanisme, que l'opération parfaite de l'ensemble dépendrait de chaque partie individuelle, et qu'un accident sérieux, arrivé à une des machines, étendrait son influence immédiatement à la série tout entière. Dans ces circonstances, il est raisonnable de supposer qu'avec une série de mécanisme aussi vaste que celle qui serait nécessaire, des éventualités occasionnant du délai devraient souvent arriver. Si les conséquences affectaient un train seulement, ces éventualités seraient de peu d'importance ; mais quand elles s'étendent, non-seulement sur toute l'étendue de la ligne de chemin de fer, mais même à chacun des trains successifs qui doivent passer dans la localité où l'accident a eu lieu, jusqu'à ce qu'on y ait porté remède, qu'on y emploie une heure ou une semaine, on doit admettre que les chances d'irrégularité sont considérables.

« L'application de la machine la plus voisine pour remplacer celle qui se trouve en défaut, ne fait pas disparaître entièrement la difficulté, elle mitige le mal, mais elle est inadmissible comme remède, puisque chacun des trains successifs éprouverait une diminution égale de vitesse, et que le délai s'appliquerait à chaque train, quelle que fût sa destination, et à chaque railway qui se trouverait en communication avec celui où l'accident aurait eu lieu. Qu'une ligne de chemins de fer dépende ainsi de l'opération uniforme et efficace d'une série compliquée de mécanismes appliqués à une autre ligne avec laquelle elle est en relation, c'est un point qui me paraît présenter une difficulté des plus grandes pour l'application du système à de grandes lignes publiques de railways ; cette difficulté

est même si grande, que je doute beaucoup qu'on puisse mettre un pareil système à exécution, quand bien même il serait supérieur sur tous les autres points, à celui des locomotives sur une chaîne de railways, telle que celle qui existe entre Londres et Liverpool, ou entre Londres et York.

« Cette difficulté, qui est insurmontable et inhérente à tous les systèmes qui font usage de machines stationnaires, avait fait l'objet d'un sérieux examen avant l'ouverture du chemin de fer de Liverpool à Manchester, parce qu'il était question d'y appliquer les machines stationnaires et les cordages; on pesa mûrement alors l'objection d'après laquelle toute la ligne dépend d'une des parties, et il fut décidé qu'il y avait de fortes objections contre ce système. Dans le cours de mon investigation, je suis de nouveau entré dans un sérieux examen sur la possibilité de s'en servir, mais sans parvenir à éloigner les obstacles qui doivent s'opposer à ce qu'on obtienne cette exactitude d'exécution qui est devenue indispensable dans toute communication par chemin de fer.

« Les évaluations avec leurs conséquences que je viens de mentionner et de discuter ne se rapportent qu'au mécanisme par lequel on transmet le pouvoir moteur; mais les chemins de fer sont encore sujets à d'autres cas fortuits, et l'on ne doit pas les omettre. Le système atmosphérique exige une fondation ferme et constante, pour que le tube d'aspiration se conserve précisément dans sa position convenable pour le libre passage du piston. Il est facile de le maintenir dans cette position de stabilité, dans le cas du chemin de Kingstown, puisque toute la distance est formée en tranchées et sur le roc; mais sur des terrassements nouvellement terminés, le terrain baisse, non pas seulement peu à peu, mais d'une manière rapide, ce qui détruit complétement la continuité des rails, et ne laisse tout au plus qu'une seule ligne de rails dont on puisse se servir pour le passage des trains dans les deux directions. Ces éventualités ont lieu dans les déblais et dans les remblais, sur presque toutes les lignes importantes des chemins de fer de ce pays, et elles

ont rendu inévitable pendant plusieurs jours de suite l'emploi d'une seule ligne de rails pour les trains allant dans les directions opposées ; aucun de nos grands chemins de fer n'en est exempt, quoiqu'il y ait quelques années qu'ils soient ouverts. Il n'y a pas un an que le chemin de fer de Londres à Birmingham a été obligé de se servir dans deux ou trois endroits à la fois de l'expédient dont nous venons de parler, quoiqu'il y eût déjà plus de six ans que la ligne était ouverte à la circulation.

« Mais comme ce serait allonger ce rapport que de mentionner en détail toutes ces éventualités, comme ce serait, en outre, entamer des questions sur lesquelles il peut y avoir diverses opinions, j'ai préféré mettre de côté tous ces détails de moindre importance et me borner à mentionner les objections qui s'attachent au système d'une manière irréfutable. C'est pour cela que je n'ai pas soulevé les objections qui peuvent exister pour empêcher de desservir un trafic compliqué à des stations intermédiaires d'une ligne de chemin de fer lorsqu'il faut constamment changer la position des voitures d'un train, lorsqu'il faut faire reculer un train en mouvement, mettre les voitures à l'écart dans les voies d'évitement, etc. Je n'ai pas, non plus, fait allusion à la nécessité qui existe d'avoir des freins puissants et des gardes à chaque voiture afin d'arrêter les trains lorsque la machine continue de donner tout son pouvoir moteur. J'ai cru devoir omettre entièrement ces objections et beaucoup d'autres encore de moindre importance, afin d'appeler seulement l'attention sur les traits principaux de l'invention, et de ne traiter comme une difficulté aucun point qui n'aurait pas été évidemment inhérent au système même, et auquel il y aurait eu moyen de porter remède. »

Le système atmosphérique paraît donc tout à fait inapplicable pour l'exploitation d'une grande ligne et sur les pentes faibles parcourues habituellement par les locomotives. Il a été abandonné en Angleterre sur les lignes à faibles pentes, auxquelles on avait tenté de l'appliquer. L'expérience en a

définitivement condamné l'emploi dans de pareilles circonstances, mais sur des pentes dépassant trois centimètres le service avec locomotives devenant très-dispendieux ou impossible, le système atmosphérique peut alors être susceptible d'application.

Voici l'opinion de l'ingénieur français le plus compétent sur cette question, M. Eugène Flachat, qui a construit et exploité le plan incliné de Saint-Germain. Elle est consignée dans la note suivante, que cet ingénieur éminent a bien voulu nous autoriser à publier :

« Le système atmosphérique ne me paraît pas susceptible d'être appliqué dans les conditions où il se trouve aujourd'hui avec avantage, autrement que sur les plans inclinés; les principales difficultés qui s'opposent à son adoption sur de grandes longueurs, consistent dans ses frais d'établissement, et dans l'impossibilité de proportionner l'effort aux effets à produire, sans faire varier les dimensions du tube suivant les rampes : je n'aperçois point de solution à cette difficulté.

« Une autre est dans la perte de force qui résulte de l'emploi d'une soupape toujours perméable à l'air.

« La quatrième résulte de l'impossibilité de faire fonctionner économiquement les foyers de machines puissantes pendant quelques minutes seulement de la journée.

« C'est donc uniquement aux plans inclinés que me paraît devoir se borner l'application du système. Mais, sous ce rapport, il présente des avantages très-évidents.

« Le premier est dans la combinaison qu'il permet de l'effort de traction développé par les locomotives avec celui qui est exercé au moyen du tube atmosphérique.

« En supposant le tube placé sous la voie, à un niveau suffisant pour laisser passer le chariot qui porte le piston auquel s'attacherait la machine locomotive, un train pourrait franchir sans retards les hauteurs les plus considérables.

« En prenant pour exemple le chemin de fer de Saint-Germain, dont le plan incliné se compose d'une longueur de

1000 mètres, dans laquelle les rampes varient par éléments de 120 mètres, de 0, à 0,035 millimètre par mètre, et d'une rampe de 0,035 millimètres sur un kilomètre d'étendue, la machine locomotive l'Antée, pesant 27 tonnes, remonte, lorsque l'état de l'atmosphère assure sa complète adhérence, 14 voitures de voyageurs de 6 à 7 tonnes.

« Le chemin de fer atmosphérique ne peut remonter que 10 voitures de ce poids; mais si le tube était posé sous la voie, il serait inutile de partager les trains par 10 voitures, et, dans les jours de l'affluence, la possibilité de monter 24 voitures à la fois, par train, ôterait au chemin de fer atmosphérique le grave inconvénient qu'il présente d'une puissance limitée à 10 voitures, très-suffisante pour 340 jours de l'année, mais insuffisante pendant 25 jours de fête ou d'affluence.

« Le chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain n'a jamais failli.

« Il a fait franchir jusqu'à ce jour à 45000 trains environ la hauteur de 52 mètres par un plan incliné de 2 kilomètres; jamais un accident ne s'est produit ; la sécurité du service y est absolue; sa facilité est telle qu'il me semble mériter à ce titre l'attention la plus sérieuse des ingénieurs.

« Quant à l'économie, elle est évidente : l'application des locomotives à des rampes de 35 millimètres ne peut se faire qu'à la condition de tenir les rails et les bandages dans un état de siccité ou de grande humidité tel que l'adhérence puisse être complétement obtenue; cette adhérence, qui va jusqu'à 15 et 20 kilogrammes par tonne, se réduit à 6 ou 7 kilogrammes par l'interposition des matières les plus légèrement lubrifiantes : la rosée, le givre, les feuilles d'arbres, la neige, les pluies fines et grasses de l'automne et du printemps produisent cet effet assez fréquemment pour qu'un service régulier ne puisse être assuré si la voie n'est pas soustraite à leur influence ; à ce titre, le plan incliné de Saint-Germain ne pourrait être desservi par des locomotives qu'autant qu'il serait

complétement couvert et mis à l'abri de l'influence atmosphérique.

« Mais la combinaison du système atmosphérique et de la puissance des locomotives évitera dans la plupart des cas pour les plans inclinés cette dispendieuse condition.

« Quant à l'économie de l'application en elle-même, on pourrait se dispenser d'en parler en ce sens que le système atmosphérique ne devrait être employé que là où les machines locomotives seraient impuissantes; cependant il importe de faire remarquer, que si l'on fait abstraction de l'intérêt du capital d'établissement, la dépense de traction par le chemin de fer atmosphérique, remonte et descente comprises, n'est pas beaucoup plus considérable que celle d'un train de marchandises sur les pentes ordinaires, puisqu'elle n'excède pas 1 fr. 90 c. par kilomètre, en y comprenant l'entretien du tube et de la soupape, et en comptant la houille à 35 fr. la tonne.

« Il résulte de cette appréciation qu'aujourd'hui encore, toute autre solution que le chemin de fer atmosphérique serait embarrassante pour le service du plan incliné de Saint-Germain.

« De ce point de vue, cherchant les applications du système combiné qui auraient simplifié les grandes difficultés qu'a présentées l'établissement des chemins de fer en France, et qui ont amené une absorption de capital qui a un instant ébranlé les plus brillantes affaires, je citerai la traversée de Rouen, qui eût pu être faite de manière à mettre le chemin de fer en pleine relation avec la ville au lieu de passer en dessous; la traversée de Lyon, qui a retardé de plusieurs années la jonction avec la ligne de la Méditerranée; la traversée de la Nerthe, qui a mis en péril le chemin de Marseille à Avignon; le passage du faîte que traverse le chemin de Lyon à Blaisy; le plan incliné appelé à relier la gare des marchandises du chemin de la Méditerranée avec le port de la Joliette à Marseille.

« Je crois que dans les solutions qui sont intervenues pour résoudre ces grandes difficultés de l'art, les ingénieurs ont fait complétement abstraction du système atmosphérique, et se sont privés par là du moyen de résoudre avec économie et rapidité les difficiles questions que la configuration du sol leur présentait.

« L'application du système atmosphérique, à la jonction du réseau français avec les réseaux étrangers à travers les pays de montagnes qui, dans le midi de la France, rendent cette réunion difficile, ne me paraît pas pouvoir être envisagée d'une manière générale.

« Partout où les faîtes pourront être traversés par des inclinaisons maxima, qui ne dépasseraient pas 30 à 35 millimètres, je crois qu'en employant une voie très-forte et des machines locomotives très-puissantes, et en couvrant cette voie d'une galerie pour la mettre à l'abri des influences atmosphériques[1], on atteindra le but de la manière la plus économique, c'est-à-dire en évitant autant que possible les terrassements et les travaux d'art par l'emploi de rampes très-fortes et très-multipliées, et de courbes très-prononcées.

« L'unique condition à remplir pour profiter de tous les progrès que l'art a fait faire aux machines locomotives est de soustraire celles-ci à l'influence de l'état atmosphérique qui en affaiblit l'adhérence.

« Mais il est probable qu'il se présentera dans la configuration du sol des dispositions qui forceront de dépasser les limites d'inclinaison indiquées ci-dessus.

« Les faîtes des Pyrénées, par exemple, présentent sur les versants du midi des inclinaisons généralement assez faibles; sur les versants du nord, au contraire, des inclinaisons très-abruptes.

[1] Nous avons dit ailleurs que la voie dans les souterrains était ordinairement recouverte de matières grasses qui diminuent l'adhésion. Cela tient principalement à la chute de l'eau chargée de terre qui suinte souvent de la voûte. Le même effet n'aurait pas lieu sur des voies au-dessus desquelles auraient été établis des combles courbes en fer ou en bois comme ceux que proposerait sans doute M. Flachat pour les mettre à l'abri des influences atmosphériques.

« Ce phénomène est tellement général que l'on peut dire que la disposition contraire est exceptionnelle. On assure qu'il en est de même pour les Alpes, dont les versants seraient beaucoup plus abrupts du côté de l'Italie que du côté de la France.

« Cette disposition des lieux peut nécessiter des rampes d'une inclinaison supérieure à celles que les locomotives peuvent franchir.

« Dans ce cas, l'emploi du système atmosphérique me paraît le plus susceptible de tous de fonctionner d'une manière complétement indépendante de l'état de l'atmosphère, et, en conséquence, je n'hésiterai pas à en conseiller l'emploi, en prescrivant de l'établir immédiatement aux dimensions nécessaires pour remorquer, sans être obligé de les partager, les trains que les machines locomotives pourraient amener au pied des rampes.

« A l'aide de ce moyen, je crois qu'il n'est presque pas, parmi les cols reconnus, un seul qui ne puisse être traversé sans souterrain ou avec des souterrains d'une faible longueur.

» La voie devrait alors être établie de manière à ce qu'une certaine quantité de neige tombant sur le sol, ne puisse la couvrir, et, dans tous les cas, qu'elle puisse être facilement enlevée ; le système atmosphérique présenterait sous ce rapport des moyens infiniment plus efficaces que les machines locomotives.

« On a objecté à l'emploi du système atmosphérique dans les pays de montagnes, la difficulté que l'on éprouverait à graisser la soupape dans les temps de gelée.

» Je crois qu'il est possible d'en améliorer la construction de manière à se passer de graisse. S'il était indispensable d'en employer, on pourrait la fabriquer de façon que les basses températures n'eussent qu'une faible action sur elle. J'en ai fait l'expérience jusqu'à dix degrés au-dessous de zéro.

« Je ferai enfin une dernière observation sur la longueur des tubes. Je ne voudrais pas dépasser trois kilomètres de lon-

gueur de tubes par machine, et je compterais dans le calcul de l'effort de traction un vide correspondant au plus à 37 cent. d'abaissement du mercure.

« Il y a un inconvénient réel à donner trop de longueur au tube. Je crois que bien que tous les joints soient faits avec des matières qui ont une certaine élasticité, nous devons attribuer aux mouvements de la dilatation la mobilité de ces joints et les réparations auxquelles ils donnent lieu. Des compensations seraient nécessaires à des distances plus rapprochées que nous ne les avons placés. Cet entretien est d'ailleurs coûteux.

Système Hallette. — M. Hallette a adopté le principe du système atmosphérique employé sur le chemin de Kingston à Dalkey, seulement il en a modifié la soupape longitudinale, le piston et les soupapes aux deux extrémités du tube. Le tube de propulsion porte dans toute sa longueur et des deux côtés de la rainure (fig. 492) un appendice à peu près semi-cylindrique, et dans lequel vient se loger un boyau A, en toile rendue imperméable et élastique. Ces boyaux, sous l'influence de l'air comprimé qu'on y introduit, se gonflent, et pressant l'un contre l'autre, opèrent la fermeture du tube. La barre de jonction du piston au wagon conducteur passe entre ces boyaux préservés de l'usure par des bandes de cuir très-souples maintenues dans un état constant d'onctuosité. Les boyaux qui se sont séparés pour la laisser passer se rapprochent immédiatement der-

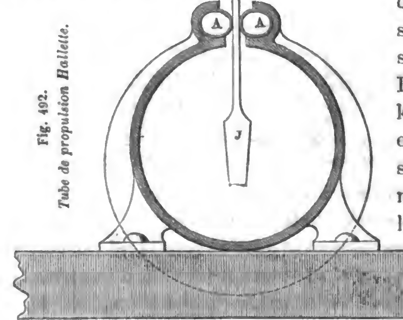


Fig. 492. Tube de propulsion Hallette.

rière elle. La barre de jonction employée primitivement par M. Hallette était creuse. Elle se composait de deux feuilles de tôle formant une espèce de tuyau ovale. C'est par cette ouverture lenticulaire que l'air rentrait derrière le piston. Le piston proprement dit A, B (fig. 493) était formé de deux parties, l'une A avec saillies recouvertes de bandes de cuir frottant contre les parois intérieures du tube atmosphérique et l'autre B. La partie A se terminait à une extrémité par des branches élastiques X lui servant de guide, et elle était fermée à l'autre extrémité par un diaphragme percé de trous 1, 2 et 3, recouverts habituellement par des clapets que le mécanicien

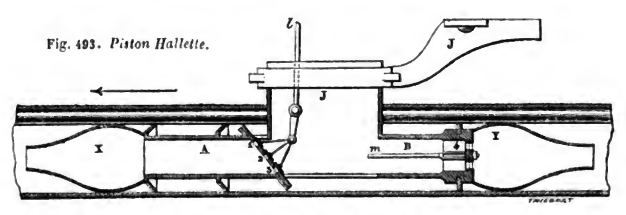


Fig. 493. *Piston Hallette.*

pouvait soulever au moyen du levier *l*. L'autre partie B était aussi un cylindre en métal avec garniture en cuir. Dans ce cylindre était logée une soupape 4 que l'on manœuvrait au moyen d'une tige filetée *m*, mise, ainsi que le levier *l*, à la portée du mécanicien. Elle était aussi guidée par des branches élastiques.

Pour la marche en avant, le vide se faisant en X, le mécanicien fermait les soupapes 1, 2, 3. La soupape 4 du piston B étant ouverte, le convoi s'avançait alors sollicité par la pression atmosphérique qui s'exerçait sur le piston A. Si, au contraire, le mécanicien ouvrait les soupapes 1, 2 et 3, et fermait la soupape 4, l'air s'introduisant dans l'espace X, où l'on avait fait le vide, la pression devenait égale de part et d'autre du piston, et le convoi ne s'avançait plus qu'en vertu de la vitesse acquise. Mais la soupape 4 étant fermée, l'air extérieur cessait de s'introduire dans la partie Y du tube pro-

pulseur, derrière le piston, au fur et à mesure qu'il marchait, et celui qui existait déjà dans la partie Y se détendait. La pression alors diminuait à l'arrière du piston et il y avait excès à l'avant. De là naissait une force opposée à la marche du convoi qui tendait à le faire reculer. On voit qu'ainsi le mécanicien pouvait faire marcher le piston à volonté dans l'une ou dans l'autre direction.

Le frottement de la tige ovale d'attelage contre les boyaux étant considérable, M. Hallette modifia son système en la réduisant à une simple feuille de tôle de $0^m,12$ de longueur sur $0^m,02$ d'épaisseur, et la prise d'air n'ayant plus lieu dans l'intérieur même de la barre d'attelage, il l'effectua au moyen de soupapes spéciales placées sur des tubulures. La tige du piston déplaçait ces soupapes au moyen de galets qui rencontraient un levier. Il ne changea rien, du reste, aux autres dispositions du piston.

On a fait au système Hallette les objections suivantes, dont l'expérience a confirmé la valeur.

L'étoffe dont les boyaux sont composés paraît devoir subir toutes les influences atmosphériques. La pression des boyaux contre la tige ne saurait être constante et peut devenir parfois excessive. L'appareil adopté en dernier lieu pour les rentrées d'air est compliqué et sujet à de fréquents dérangements. La pression extérieure tend à refouler les boyaux dans la rainure.

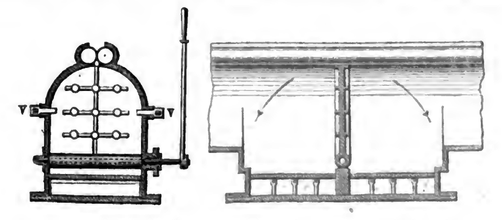


Fig. 494. *Soupape Hallette.*

La soupape (fig. 494) qui ferme le tube propulseur présente aussi des dispositions particulières. Elle porte à sa partie in-

férieure une charnière, à droite et à gauche de laquelle elle peut se rabattre horizontalement. La faculté qu'elle possède de pouvoir ainsi se mouvoir dans les deux sens facilite beaucoup le service avec un seul tube. Le convoi la manœuvre lui-même. A cet effet, le premier wagon ou wagon directeur porte des galets qui viennent appuyer sur un levier qui, par l'intermédiaire d'autres leviers et d'équerres, fait glisser des verroux V, V, maintenant la soupape dans la position verticale. L'air, refoulé entre le piston et cette soupape, la presse assez fortement pour la rabattre dans le sens du mouvement avant l'arrivée du piston. Un ouvrier la relève après le passage du convoi et met ainsi de nouveau le tube en état de fonctionner.

Système Hédiard. — M. Hédiard a imaginé un système de soupapes d'une application plus facile peut-être que la soupape Hallette. Cette soupape, offrant surtout l'avantage de présenter moins de difficultés pour le graissage que la soupape anglaise, nous croyons utile de la décrire. Nous empruntons les lignes qui suivent à l'intéressant ouvrage de M. Armengaud, déjà cité.

L'ouverture longitudinale pratiquée sur la partie supérieure du tube de propulsion est fermée, dans ce système, par deux lames d'acier formant ressort; ces lames, d'une largeur de $0^m,11$ à $0^m,12$ et d'une très-faible épaisseur, égale sur toute leur longueur, sont recourbées en arc de cercle, viennent présenter leur convexité, et sont en contact dans leurs parties supérieures sur une faible surface. Ces ressorts ne sont pas abandonnés à eux-mêmes; ils s'appuient exactement sur le tube de propulsion, dont la surface extérieure présente la concavité nécessaire à cet effet, et ils ne sont en saillie que de $0^m,04$ à $0^m,05$ au-dessus des parois de la rainure. Ils sont arrêtés dans leur partie inférieure au moyen de vis taraudées dans la fonte et de tringles qui servent à les presser également sur toute leur longueur. Fixés ainsi à une assez grande distance de la rainure, ces ressorts sont placés de telle sorte que

les surfaces supérieures en contact n'exercent l'une sur l'autre qu'une faible pression.

Pour compléter le système et pour empêcher que l'air ne puisse pénétrer dans l'intérieur du tube de propulsion, un réservoir formé par deux baguettes horizontales et rempli de graisse, est établi dans toute la longueur; il renferme les ressorts et s'élève de quelques centimètres en contre-haut de la partie supérieure.

Système Pecqueur. — M. Pecqueur, comme M. Andraud, s'est proposé de faire fonctionner les locomotives au moyen de l'air comprimé à une certaine pression. Nous avons reconnu, en parlant de la locomotive Andraud, qu'il ne paraissait pas possible de faire porter le réservoir d'air comprimé au véhicule. M. Pecqueur a imaginé de puiser cet air dans un tube fermé régnant sur toute la longueur de la voie et servant de réservoir, où l'on tient la force accumulée.

Pour le faire arriver dans les boîtes à distribution, ce tuyau fermé est muni, de distance en distance, de tubulures à soupape mises en communication avec des tiroirs ou glissières creuses de grandes dimensions, faisant partie des locomotives mêmes et mises en mouvement par un mécanisme y adhérant. L'air comprimé qu'elles renferment se rend aux cylindres de la même manière que la vapeur, par un tuyau métallique dont une partie est rendue élastique pour se prêter aux oscillations et aux chocs qui peuvent survenir dans la marche.

Ce mode de distribution permet d'obtenir une détente constante à chaque prise d'air ou à chaque tubulure du grand réservoir longitudinal.

Le système Pecqueur paraît trop compliqué pour être susceptible d'une application facile, et on peut lui faire une grande partie des reproches que nous avons adressés au système atmosphérique par aspiration.

M. Pecqueur a aussi imaginé une disposition qui lui permet d'employer l'air comprimé à faire marcher un piston locomoteur comme dans le système atmosphérique par aspiration.

Nous renverrons, pour la description de ce système, à l'ouvrage de M. Armengaud.

Système Chameroy. — M. Chameroy place dans le sol, sur toute l'étendue d'un chemin de fer et entre deux voies, une conduite en tôle et bitume T (fig. 495), d'un diamètre déter-

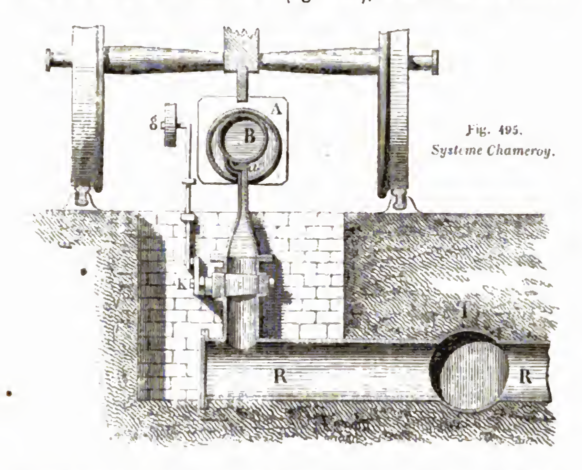


Fig. 495.
Système Chameroy.

miné, et essayée à dix atmosphères. Cette conduite est fermée, c'est-à-dire qu'elle n'a ni ouverture, ni soupapes longitudinales, ni soupape de rentrée ; elle est remplie d'air comprimé au moyen de machines fixes à vapeur, hydrauliques ou à vent.

Sur ce réservoir immense sont établis des embranchements R à des distances de 50 à 100 mètres environ ; ces embranchements, qui viennent aboutir au centre de la voie, où ils sont solidement fixés, font office de pistons, et servent à distribuer, en temps utile, l'air comprimé.

La partie de ces embranchements qui se trouve dans le sol est munie d'un robinet K, portant le levier *g*K ; l'autre partie, qui dépasse le niveau du sol, est composée d'un conduit en

tôle très-aplati. A l'extrémité supérieure de ce conduit aplati, est pratiquée une gorge *a* au-dessus de laquelle est fixé horizontalement et parallèlement à la voie, un tube cylindrique B, terminé par deux cônes *c* et *c'* (fig. 496); l'un de ces cônes *c* est fermé, l'autre cône *c'* est ouvert au moyen de plusieurs petits orifices, et porte une garniture en cuir.

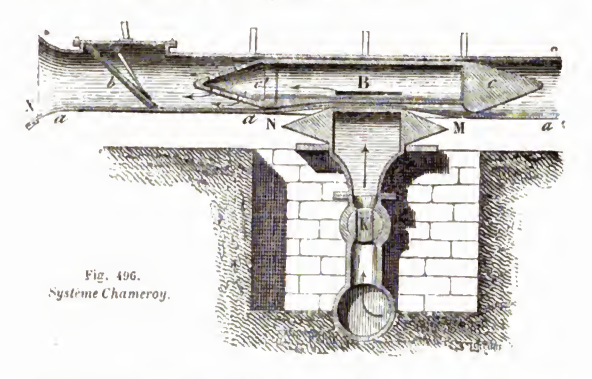


Fig. 496.
Système Chameroy.

Cette disposition d'embranchement forme une des parties les plus ingénieuses de cet appareil comme nouveau moyen de transmission de la force des machines fixes; elle permet l'application de l'air comprimé à la locomotion des convois à l'aide d'un appareil mobile attaché aux wagons.

Cet appareil est composé de tubes métalliques, réunis entre eux par des joints flexibles, de manière à ne former qu'un seul tuyau articulé, évasé à ses extrémités, et auquel est pratiquée inférieurement une ouverture longitudinale *aaa*; cette ouverture est fermée intérieurement par une lanière en cuir qui fait l'office de soupape. Libre dans toute sa longueur, cette lanière est maintenue à chaque bout par un bras X, monté à charnière aux extrémités du tube articulé. A chaque extrémité de ce tube est encore disposée une soupape métallique *b*, placée obliquement et manœuvrant à charnière.

Aux parties antérieure et postérieure du tuyau articulé, sont établies des cames pour l'ouverture et la fermeture des robinets des embranchements.

Des leviers, placés sous la main du conducteur, sont disposés pour faire jouer ces cames et les soupapes *b*.

Ce tube, ainsi construit, est supporté par des ressorts fixés à un train mobile ou attachés sous les wagons.

Voyons maintenant comment fonctionne cet appareil locomoteur.

La conduite T est préalablement remplie d'air comprimé à plusieurs atmosphères. Le tube locomoteur est attaché aux wagons. Il est engagé sur un piston fixe faisant partie du premier embranchement.

Le conducteur ferme alors, au moyen des leviers, la soupape antérieure *b*, et tient ouverte l'autre soupape. Ces dispositions étant prises, il ouvre à la main le robinet K; l'air comprimé, s'échappant aussitôt de la conduite, traverse le conduit aplati, le tube horizontal B, ainsi que les orifices ménagés dans le cône *c'*, et pénètre dans la partie du tube locomoteur comprise entre la soupape fermée et la garniture en cuir. L'air comprimé n'ayant point d'action sur le piston fixe B qui forme point d'appui, sa puissance agit uniquement sur toute la surface de la soupape antérieure *b*. C'est alors que le tube locomoteur glisse sur les garnitures circulaires et entraîne le convoi auquel il est attaché.

Lorsque l'extrémité postérieure du locomoteur arrive sur le tube horizontal B, une came fait fermer le robinet K.

La conduite étant fermée, le tube locomoteur quitte le premier embranchement, et s'avance en vertu de la vitesse acquise; lorsqu'il est arrivé sur le deuxième, la soupape antérieure *b* est aussitôt soulevée par le cône fermé *c*, elle glisse sur le tube horizontal B et se referme lorsqu'elle a dépassé le cône ouvert *c'*. Dans le même instant, le bras X portant la lanière en cuir *a*, *a*, est dirigé par le guide inférieur M; il passe, ainsi que cette lanière, dans la gorge horizontale *a*, et

il est aussitôt remplacé par le contre-guide N et par le piston B. Durant cette manœuvre, l'ouverture longitudinale du tube locomoteur livre passage au conduit aplati. Dès que la soupape antérieure *b* a dépassé le cône ouvert *c'*, et que cette soupape s'est refermée, la came, placée en tête du locomoteur, fait ouvrir le robinet K; l'air comprimé, s'échappant de nouveau de la conduite, vient frapper la soupape antérieure *b*, et donne une nouvelle impulsion au tube locomoteur ainsi qu'au convoi auquel il est lié. Au moyen de ces impulsions successives, le convoi parcourt la ligne sans interruption.

Le système Chameroy paraît moins encore que les précédents pouvoir se prêter aux besoins du service.

Que le wagon directeur du convoi se trouve accidentellement arrêté entre deux pistons fixes, comment le mettre en mouvement? comment faire le service des grandes gares sur une multitude de voies? Si un convoi dépasse une station intermédiaire, comment le faire reculer? Comment, sur les terrains de remblais, conserver au système toute la précision d'exécution qui est nécessaire pour qu'il fonctionne convenablement? Il nous paraît difficile de répondre d'une manière satisfaisante à ces questions et à bien d'autres encore.

Chemins éoliques. — Le système éolique, qui est de l'invention de M. Andraud aussi bien que celui des locomotives à air comprimé, consiste en un madrier placé de champ entre deux rails; de chaque côté de ce madrier est appliqué un tube en étoffe flexible et imperméable à l'air. Ces tubes, dits propulseurs, communiquent de distance en distance par des robinets avec un tube réservoir latéral, étanche et résistant, qui accompagne la voie dans toute sa longueur. A des distances qui varient à volonté, sont placés des jeux de pompe mis en action par une force quelconque. Ces pompes compriment l'air dans le tube-réservoir d'où il est versé à volonté, au moyen des robinets, dans les sections des tubes propulseurs.

Les voitures qui transportent les voyageurs ou les marchandises sont armées à l'avant d'un appareil composé de

deux cylindres qui se serrent à volonté, de manière à pouvoir presser fortement les tubes propulseurs contre le madrier.

Lorsque le wagon est ainsi disposé, on ouvre le robinet de départ, l'air s'introduit aussitôt dans la partie postérieure des tubes ; cette irruption de l'air comprimé agit sur les rouleaux, qui, en marchant, entraînent le wagon. Arrivé à l'extrémité de la section, le wagon passe sans s'arrêter sur la section suivante, dans laquelle on introduit également l'air. Il n'est pas nécessaire de laisser le robinet ouvert jusqu'au moment où le wagon est arrivé à l'extrémité de la section; on peut le fermer auparavant, et l'air agit alors par détente, en perdant naturellement et graduellement sa puissance de propulsion sans que le train, pressé par la vitesse acquise, perde de sa vitesse.

Lorsqu'on désire arrêter, on desserre les rouleaux; l'air s'échappe par le tube sans agir sur eux, et l'on serre les freins. L'homme chargé de la manœuvre du robinet le ferme s'il est encore ouvert.

Le système éolique présente tous les avantages et les inconvénients des systèmes à machines fixes, et on lui reproche certains inconvénients qui lui sont propres. Ainsi les tubes de propulsion en étoffe, enduits de caoutchouc, ne semblent pas, dit-on, susceptibles d'une longue durée, et sont sujets à de fréquentes avaries. On ne se rend également pas bien compte de la perte de force qui aura lieu dans la transmission de la puissance du moteur aux wagons par le procédé Andraud. Il y a lieu de craindre qu'elle ne soit considérable.

Soixante-dix brevets ont été pris pour des perfectionnements au système atmosphérique. On en trouve la description dans l'ouvrage de M. Armengaud.

Locomotives sur les routes ordinaires. — On a tenté un grand nombre d'essais, en Angleterre surtout, dans le but d'employer les locomotives sur les routes ordinaires. On est parvenu, sans de très-grandes difficultés, à les y faire circuler à

de grandes vitesses; mais cela ne suffisait pas, il fallait encore qu'elles pussent marcher avec économie et la dépense a toujours été excessive.

Ce résultat était du reste facile à prévoir. En effet, une machine roulant sur une route ordinaire pourra à plus forte raison rouler sur une voie ferrée. Or, elle traînera sur la voie ferrée en plaine une charge huit ou dix fois plus considérable que sur la route. Le poids mort sur la route ordinaire, comparée au chemin de fer, sera donc excessif. Ce rapport sera encore bien plus défavorable sur des pentes de cinq centièmes, comme on en rencontre sur la plupart des routes en France. La charge traînée même par des machines puissantes sera très-faible.

Une seconde objection faite à l'emploi des locomotives sur les routes ordinaires est puisée dans les variations de l'adhérence. Dans toutes les parties de la route sèches et en bon état il y aura excès d'adhérence ; mais cette adhérence diminuera beaucoup sur les parties boueuses et dans celles qui auront été récemment rechargées.

Enfin les frais d'entretien des locomotives sur les routes seraient énormes. Ils sont déjà très-élevés sur un chemin de fer qui est parfaitement uni ; que deviendraient-ils sur une route dont le sol présente toujours des inégalités plus ou moins sensibles, plus ou moins nombreuses?

Il faudrait donc, pour qu'on pût se servir avec quelque avantage des locomotives sur les routes ordinaires, 1° que le tracé en remplît à peu près les mêmes conditions que celui des chemins de fer, ce qui en rendrait l'établissement excessivement coûteux; 2° qu'on les maintînt dans un état d'entretien tel que la surface en restât presque aussi unie que celle d'un chemin de fer, ce qui serait aussi fort dispendieux, si ce n'était absolument impossible.

Aussi a-t-on définitivement, en Angleterre comme en France, abandonné les essais tentés dans le but d'employer les locomotives sur les routes ordinaires.

Les personnes qui toutefois désireraient connaître les dispositions adoptées par Gurney et par d'autres qui se sont occupés de la construction des locomotives sur les routes ordinaires, trouveront les renseignements les plus complets à ce sujet dans un intéressant Mémoire publié en 1833, par M. Mary, inspecteur général des ponts et chaussées.

APPENDICE

INDIQUANT SOMMAIREMENT LES PROGRÈS FAITS PENDANT LA PUBLICATION DE CET OUVRAGE.

COMPARAISON DES CHEMINS DE FER ET DES CANAUX.

On s'occupe toujours d'essais dans le but d'appliquer la vapeur à la locomotion sur les canaux, mais ces essais ne sont pas encore assez concluants pour que nous en donnions l'analyse.

HISTORIQUE.

CHEMINS EXPLOITÉS.

Depuis la publication de notre premier volume, plusieurs lignes ou portions de lignes nouvelles ont été livrées à l'exploitation, concédées ou projetées. Nous allons reproduire les renseignements que nous avons pu nous procurer sur ces nouveaux chemins de fer; ils serviront à compléter les cartes déjà tirées depuis quelque temps.

En Angleterre. La longueur des voies ouvertes en Angleterre en 1854 était (vol. I, p. 22) de 12362 kilomètres; à la fin de 1855, suivant M. Robert Stephenson (discours prononcé à la Société des Ingénieurs civils), elle était de 12967 kilomètres. Le capital engagé en 1854 s'élevait à 6 milliards 833 mille francs, en 1855 à 7 milliards 150 millions.

Nous ne possédons pas des données suffisantes pour indiquer les nouvelles lignes livrées à l'exploitation. Au surplus, les grandes artères étant depuis longtemps construites, celles qui viennent d'être terminées ne jouent qu'un rôle secondaire.

En France. La longueur des lignes exploitées était de 4640 kilomètres à la fin de 1854; elle est de 5539 à la fin de 1855.

Les nouvelles lignes exploitées en 1855 ou au commencement de 1856 sont les suivantes : Lignes du Nord : Haumont à Erquelines, Saint-Quentin à Haumont. Lignes de l'Est : Saint-Dizier à Donjeux, Vendenheim à Haguenau, Haguenau à la frontière.

Ligne de l'Ouest : Mantes à Lisieux, le Mans à Laval, Lisieux à Caen, le Mans à Alençon, de Beuzeville (ligne du Havre) à Fécamp.

Ligne de Lyon : Dijon à Dôle, Dôle à Besançon, la Roche à Auxerre.

Ligne de la Méditerranée : Lyon à Valence. Ligne du Grand-Central : Saint-Germain à Clermont, Clermont à Issoire, Issoire à Brassac.

Ligne du Midi : Dax à Bayonne, Bordeaux à Langon, Langon à Tonneins.

En Belgique et **en Hollande** on a ouvert en 1855, les chemins d'Anvers à Rotterdam, de Rotterdam à Utrecht, de Rosendael à Breda, de Charleroy à Louvain, de Gand à Audenarde, de Turnhout, et le chemin de Dendre à Vaes (portion du chemin d'Ath à Termonde).

Nous ne connaissons pas exactement la longueur de ces nouvelles lignes, mais on pourra la déterminer par approximation au moyen de la carte de Belgique jointe au premier volume.

En Allemagne. On a livré à la circulation les chemins de Bonn à Rolandswoerth, 13 kilomètres; de Soest à Dortmund (ligne du Rhin à Leipzig, par Cassel), 54 kil.; de Osnabruck à Löhne (ligne de Hanovre à la mer du Nord, par Osnabruck); 48 kil.; de Schweidnitz à Reichenbach (ligne de Breslau aux montagnes de Bohême), 20 kil.; de Munich à Starnberg (ligne de Munich à Inspruck), 27 kil.; de Munich à Hesseldt, 9 kil.; d'Anheim à Emerich, de Neustadt à Landau, et de Landau à la frontière française, ces deux derniers ayant 49 kilomètres de longueur (ligne de la mer du Nord à la Méditerranée); de Bruck à Raab (ligne de Vienne à Raab), 75 kil.

En Suisse. On a ouvert le chemin d'Yverdun à Lausanne

et à Morges, portion de la ligne de Genève à Bâle ; le chemin de Zurich à Romanshorn (lac de Constance) a été livré à la circulation, à l'exception de deux ou trois kilomètres près de Zurich, où se trouve un souterrain. Le chemin de Zurich à Baden est depuis longtemps exploité. Celui de Bâle à Sissach l'est également, en sorte qu'il ne reste plus que la lacune de Baden à Sissach par Olten à combler pour compléter la ligne de Bâle au lac de Constance. Cette lacune sera comblée l'année prochaine. Romanshorn est placé sur le lac de Constance vis-à-vis de Friderichshafen, tête de la ligne qui s'étend de ce lac à la Baltique. On a ouvert aussi, en 1854, une portion de l'embranchement de Vintherthur à Saint-Gall et à Rohrschach (lac de Constance). Il reste encore à exécuter un tiers environ de cette ligne placé dans des conditions très-difficiles d'exécution.

En Pologne et en Russie. On a ouvert le chemin de Cracovie à Dembicka et un nouveau tronçon du chemin de Saint-Pétersbourg à Varsovie.

Le chemin de Varsovie à Cracovie dont nous avons négligé de faire mention dans le premier volume était déjà ouvert en 1854.

En Danemark. Le chemin de Copenhague à Korsoer a été complété.

En Espagne. On a ouvert le chemin de Madrid à Aranjuez et Albacete, long de 276 kilomètres, portion importante du chemin de Madrid à Alicante et Valence, et celui de Barcelone à Larasa, ce dernier faisant partie de la ligne de Barcelone à Saragosse. Il faut ajouter aussi aux chemins indiqués comme livrés à l'exploitation, dans le premier volume, le complément du chemin de Gijon à Sama de Langreo (riche bassin houiller) ; ce dernier ayant 37 kilomètres de longueur ; le chemin de Barcelone à Molinos del Rey (16 kilomètres) ; ceux de Barcelone à Granollet (29 kilomètres), de Jérès à Puerto-Santa-Maria (15 kilomètres), et le complément du chemin de Jativa (San-Felipe) à Valence et au pont de Grao. La portion exploitée en mars 1856 se trouvait être ainsi de 481 kilomètres.

En Portugal. On a ouvert le chemin de Lisbonne à Cintra.

En Piémont et en Italie. On a complété le chemin de Novarre à Arona, dernière partie de la ligne qui réunit le lac Majeur à la Méditerranée, et on a livré au public celui de Novarre à Verceil, formant environ les deux tiers du chemin de Turin à Milan. On est sur le point d'ouvrir le chemin de Rome à Frascati.

En Égypte. Le chemin d'Alexandrie au Caire est terminé.

A Panama. La circulation a lieu sur le chemin de l'isthme de Panama.

Au Chili. Santiago est sur le point d'être réuni à Valparaiso par une voie ferrée.

Dans l'Inde. On a inauguré le chemin de Calcutta aux houillères de Raneegunge (Ier volume, page 41).

CHEMINS CONCÉDÉS OU SUR LE POINT DE L'ÊTRE.

En France. Les lignes concédées en France par le gouvernement aux compagnies dans le courant de l'année 1855 sont toutes indiquées en lignes ponctuées sur notre carte.

D'autres lignes ont été étudiées. Nous citerons de ce nombre, comme devant être les premières concédées, le chemin direct de Paris à Tours, avec embranchement sur les sables d'Olonne. Le chemin de Paris à Soissons et Reims, aboutissant à la station de Bondy sur le chemin de l'Est; le chemin de Troyes à Bar-sur-Seine et celui de Thann à Vesserling (concessions de l'Est); ceux de Boulogne à Calais, de Salins à Pontarlier et aux Verrières, le chemin de Gray à Besançon, Pontarlier et Jougne, le réseau Pyrénéen comprenant les chemins de Bayonne à la frontière d'Espagne, de Bayonne à Toulouse par Pau, Tarbes et Saint-Gaudens, de Mont-de-Marsan à Pau, d'Agen à Tarbes, par Auch, de Toulouse à Foix, de Dax à Castets, et de Perpignan à Port-Vendres; et enfin le chemin de Beaucroissant à Lyon et de Moirans à Valence (embranchements du chemin de Saint-Rambert à Grenoble). La Compagnie de l'Ouest, dans son rapport à l'assemblée gé-

nérale de mars 1856, annonce qu'elle a soumissionné un chemin partant d'Argenteuil et se dirigeant par Gisors et par la vallée de Landelle sur Pont-de-l'Arche, où il se joint à la ligne actuelle de Paris à Rouen, et deux embranchements, l'un sur Beauvais et l'autre sur Gournay. La Compagnie du chemin de Graissessac à Béziers, enfin, annonce qu'elle a fait étudier le chemin de Graissessac à Limoges par Carmau et Brives, et qu'elle se propose de l'exécuter.

En Belgique. La compagnie des chemins de fer français du Nord vient d'obtenir la concession du chemin de Mons à Haumont (point situé entre Saint-Quentin et Erquelines), qui bien que fort court, a une certaine importance parce qu'il réunit le chemin direct de Paris à Bruxelles au chemin direct de Paris à Liége.

En Allemagne. Les chemins projetés sont :

En Bavière : les lignes de Nuremberg à Amberg et d'Amberg à Ratisbonne, Passau et Linz (ligne du Rhin à Vienne); de Munich à Landshut (ligne de Munich au Danube).

Dans le grand-duché de la Hesse : les lignes de Mayence, par Darmstadt à Aschaffenbourg (ligne du Rhin à Leipzig, par Bamberg); de Mayence à Bingen, avec continuation par la Prusse jusqu'à Bonne (ligne de la mer du Nord à la Méditerranée).

Dans les principautés de Saxe et Thuringe : la ligne d'Eisnach à Meiningen et Cobourg à la frontière de la Bavière.

Dans le grand-duché de Bade : la ligne d'Offenbourg à Constance (ligne du Rhin au lac de Constance).

Dans le Wurtemberg : un chemin direct vers Nordlingen.

En Autriche : la ligne de Vienne à Linz et Salzbourg, et la ligne de Szegedin à Semlin (frontière de Turquie).

Tous ces projets sont des affaires très-sérieuses, dont l'exécution est, à l'exception de la ligne vers Nordlingen, assurée.

En Suisse. La Compagnie dite de l'Ouest vient de traiter pour la concession du chemin de Jougne (France) à Saint-Maurice (frontière du Valais), par Lausanne et Vevey. Ce

chemin est une portion de la grande ligne de Paris à Milan par le Simplon. La compagnie française du chemin de Lyon vient, dit-on, d'acheter le chemin des Verrières à Neufchâtel, faisant suite au chemin projeté de Salins à Pontarlier et aux Verrières. Une compagnie enfin, dont les fondateurs se cachent sous le voile de l'anonyme, soumissionnerait, dit-on, un chemin de Lausanne à Berne par Oron et Fribourg; mais ce chemin se trouve dans des conditions de construction et d'exploitation si désavantageuses, que le projet ne saurait être considéré comme sérieux.

En Piémont. La concession du chemin Victor-Emmanuel prend une extension nouvelle. D'Aix-les-Bains il sera dirigé sur Culoz, et de cette manière cette voie ferrée aboutira du côté du nord à la navigation à vapeur du Rhône. Du côté du midi, elle sera poussée de Saint-Jean de Maurienne à Modane. Restera le mont Cénis au milieu, mais on facilitera le trajet en posant une voie de fer à chevaux, en attendant qu'on trouve le moyen de percer un tunnel. Le tronçon de Suze à Turin réunira cette ligne au chemin de Gènes, en sorte que le trajet de Paris à Gènes pourra avoir lieu par locomotives sans autre interruption que celle du mont Cénis; un embranchement sera fait d'Annecy à Seyssel.

Un réseau vient d'être concédé, sous le nom de chemin Lombardo-Vénitien, à une compagnie à la tête de laquelle se trouvent MM. le duc de Galiera et de Rotschild, il se compose: 1° du chemin de Milan par Bergame et Venise à Trieste (déjà ouvert en partie), avec embranchement de Vérone à Mantoue, et de Monza à Lecio; 2° du chemin de Milan aux frontières sardes; 3° du chemin de Milan à Plaisance, où ce chemin se soude au chemin du centre de l'Italie, lequel, commençant à Plaisance, passe à Parme, Modène, Bologne, se réunit au réseau Toscan à Pistoja, et au chemin Lombardo-Vénitien au moyen d'un embranchement de Modène à Mantoue.

En Espagne. Une importante section du chemin du Nord (Madrid à la frontière de France), celle de Valladolid à Burgos

(121 kilomètres) vient d'être concédée ainsi que le chemin de Madrid à Saragosse (360 kilomètres). On avait concédé précédemment celle de Séville à Cordoue (130 kilomètres), Santander à Alar del Rey (118 kilomètres), d'Almansa à Jativa (San-Felipe) (71 kilomètres), d'Almansa à Alicante, de Tarragone à Reus (11 kilomètres), et de Mataro à Arenys del Mar (8 kilomètres). Le chemin déjà construit de Langreo à Gijon se continue jusqu'à Oviédo, celui de Barcelone à Molino del Rey jusqu'à Martorell, et celui de Jérès à Puerto-Santa-Maria jusqu'à Cadix. Enfin des demandes ont été adressées au gouvernement pour les chemins de Séville à Jérès, d'Alicante à Carthagène par Murcie, et de Madrid à la frontière de Portugal. La longueur des chemins déjà concédés y compris ceux en exploitation est de 1753 kilomètres.

En Russie. Le gouvernement se propose de construire de nouvelles lignes sur un grand développement, dès que la paix lui permettra de consacrer son attention aux progrès de l'industrie.

En Turquie, grâce à l'heureuse influence des nouveaux alliés du sultan, on est sur le point d'exécuter aussi tout un réseau de chemins de fer. Le projet de ce réseau, d'après la *Gazette des chemins de fer* de Bresson, comprend : deux groupes de railways. Le premier se composera des lignes de Belgrade à Setovanieza, de Setovanieza à Constantinople, de Setovanieza à Pristnia, de Pristnia à Scutari-Bojana (sur la mer Adriatique) et Pristnia à Salonique; le second renfermera les lignes de Bucharest à Vetsevova, frontière autrichienne près d'Orsova, de Bucharest à Varna; de Bucharest à Predial, près Cronstadt (Esclavonie, Autriche), de Bucharest à la frontière de Bukovine, près de Czernoviez. Les points de jonction avec les voies de transit européen seront : à Semlin, en face de Belgrade où aboutira le chemin projeté de Comoni (lignes autrichiennes) ; à Vetscrova, près d'Orsova, communiquant avec le chemin de Basiaréh à Orsova, qui suivra le cours du Danube (lignes autrichiennes) ; à Prédial près Cronstadt ; enfin à Jassy et Czernoviez, sur la frontière de la Moldavie et de l'Autriche.

Ce réseau ne laisse hors de son parcours aucune des places importantes de la Turquie. L'exécution n'en offre aucune difficulté extraordinaire, et les frais de construction seront amplement couverts par les transports que fourniront des contrées fertiles, riches en produits agricoles et métallurgiques et auxquelles il ne manque que des moyens de transport pour les céréales et pour les produits de l'exploitation des gisements métallifères.

En jetant les yeux sur une carte d'Europe, on voit que les chemins de l'Est français, ainsi que les lignes qui conduisent de la frontière de Turquie à Strasbourg doivent surtout profiter de l'accroissement de circulation qui suivra la création du réseau turc, et ce sont là des projets sérieux qui fixent l'attention d'hommes éminents et dont la réalisation ne tardera pas à s'effectuer.

Aux États-Unis la longueur des chemins de fer exploités, qui était à la fin de 1854 de 31 842 kilomètres (vol. I, p. 33), s'élevait à la fin de 1855 à 34 513 kilomètres. Le prix moyen était de 101 500 francs. Les États de l'Union qui possèdent la plus grande étendue de chemins de fer sont l'État de New-York 4397 kilomètres, l'Ohio 4347, l'Illinois 3604, la Pensylvanie 2844, l'Indiana 2558. La Californie n'a encore que 100 kilomètres de chemins de fer et le Texas que 64.

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

En France. Nous avons à signaler, concernant la construction de la voie, deux faits importants qui se sont produits depuis la publication de notre premier volume. Le premier est l'abandon du rail Barlow pour une partie de la voie du Midi, et le second l'emploi du rail américain, soit rail Vignolles, sur le chemin de Strasbourg à Bâle, sur celui de Nancy à Vesoul et sur le chemin du Nord.

Le rail Barlow n'a été abandonné pour une partie de la voie du Midi, au dire des ingénieurs de la compagnie, qu'à cause des

difficultés que la compagnie aurait rencontrées pour obtenir des rails de cette forme, de bonne qualité, des usines françaises; mais n'est-il pas permis de croire qu'ils ont trouvé dans l'emploi de ce rail d'autres inconvénients qui les ont portés à le remplacer par le rail à champignon? En Angleterre, où la fabrication en semble plus facile qu'en France les nouvelles compagnies n'en font pas usage.

La compagnie de l'Est n'a adopté le rail à patin sur les embranchements de Bâle à Strasbourg et de Nancy à Vesoul qu'après s'être assurée, auprès d'ingénieurs allemands du premier mérite, que les reproches faits à ce rail n'avaient pas toute la valeur qu'on leur attribuait. La compagnie du Nord a été plus hardie encore que la compagnie de l'Est en adoptant le rail à patin pour le remplacement d'une grande partie de ses rails à champignons sur la voie principale où passe un nombre immense de convois, dont une partie marche à de très-grandes vitesses. Il résulte d'une note qui nous a été fournie par M. Goschler tout récemment (voir plus loin), que toutefois, en Allemagne même, le rail à patin est encore rejeté par un certain nombre d'ingénieurs.

Une modification a été apportée à la disposition des éclisses. Voulant éviter de placer les joints à porte à faux, quand on emploie les rails à champignons ordinaires, MM. Grenier et Goschler, ingénieurs au chemin de fer de l'Est, ont imaginé le coussinet-éclisse représenté figure 497.

Ce coussinet-éclisse est entièrement en fer. Il ne porte, comme on le voit, qu'une seule joue et repose sur la traverse de joint par le patin. Le rail et la joue sont traversés par un boulon.

L'emploi du coussinet-éclisse n'offre pas les mêmes avantages pour le rail américain que pour le rail à champignon.

Dans la voie américaine il n'y a plus de joints en porte à faux. L'éclisse ordinaire est placée au-dessus de la traverse et l'on intercale une platine en fer forgé entre le rail et la traverse. Cette plaque est nécessaire pour maintenir la nivellation

des rails aux joints. On s'exposerait, en la supprimant, au risque d'imposer aux boulons d'éclisses un surcroît de travail.

La différence entre les deux systèmes d'éclisses appliquées au rail américain est donc que les joints avec éclisses ordinaires admettent une platine indépendante, tandis que les coussinets-éclisses portent leurs platines avec eux.

Les coussinets-éclisses présentent plus de solidité peut-être

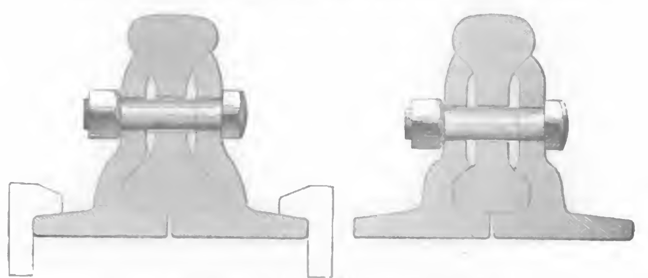


Fig. 497. *Coussinet-éclisses de MM. Grenier et Goschler.*

et sont moins sujets à se déranger, mais les réparations aux voies de fer sont plus difficiles qu'avec les éclisses ordinaires et leurs platines indépendantes.

Sous le rapport de la dépense, l'emploi des éclisses ordinaires est plus avantageux que le système des coussinets-éclisses, et la différence peut être évaluée à 200 ou 250 francs par kilomètre.

L'emploi des coussinets-éclisses paraîtrait donc avantageux plutôt pour la voie posée avec les rails ordinaires à champignons que pour celle posée avec les rails à patins.

M. Grenier, qui a voyagé en Angleterre en décembre 1855, indique dans la note suivante le système préféré aujourd'hui en Angleterre pour l'établissement de la voie.

En Angleterre. La voie la plus usitée est toujours celle sur traverses avec rails à champignon ou avec rails Vignolles; on fabrique en ce moment pour le North Eastern des rails à double champignon de $8^{m},23$ de longueur et du poids de $41^{k},70$ le

mètre. Des rails d'une si grande longueur ont un poids tel qu'ils sont difficiles à manier dans les travaux d'entretien ; on leur préfère les rails de 6 à 7 mètres.

Le modèle du rail Vignolles actuellement employé pèse 35 kilog. le mètre courant.

On est tellement convaincu qu'il importe de consolider les jonctions de rails, que dans toutes les poses neuves l'on adopte les éclisses ou de lourds coussinets en fonte lorsqu'on ne veut pas avoir le joint en porte à faux, comme avec les éclisses ordinaires.

Les renseignements suivants sur l'établissement de la voie en Allemagne sont extraits d'une note qui nous est communiquée par M. Goschler à son retour d'un voyage qu'il a fait en Allemagne en janvier 1856.

En Allemagne. D'après les nombreux écrits qui ont été publiés sur les mérites particuliers du rail à patin, connu sous le nom de rail Vignolles, et plus encore d'après les applications nombreuses qui en ont été faites sur la plupart des chemins de fer allemands, on pourrait supposer que la question est définitivement résolue en faveur de ce type. Il n'en est pourtant pas ainsi : d'une part les ingénieurs ne sont pas encore fixés sur les dimensions les plus convenables à donner au profil ; tantôt ils lui donnent une hauteur de 130 à 140 millimètres avec une épaisseur de corps de 14 millimètres (Cologne à Minden, Saarbruck) ; tantôt ils se contentent de 100 à 110 millimètres avec l'épaisseur de corps de 20 millimètres (lignes bavaroises). D'autre part, sur quelques lignes de l'État, en Prusse, on conserve encore le rail à double champignon symétrique, supporté par des cornières en fer faisant l'office des mâchoires de coussinets. Enfin, sur la ligne bavaroise d'Aschaffenbourg à Bamberg, on vient de poser une voie avec rails à deux champignons inégaux analogues à ceux de la ligne de Paris à Mulhouse.

Contrairement à l'opinion de la majorité des ingénieurs allemands, quelques-uns d'entre eux pensent encore que l'on reviendra au rail à double champignon par suite des raisons suivantes :

1° La fabrication de ce rail est beaucoup plus simple et par suite moins coûteuse que celle du rail à patin.

2° La pose de la voie est infiniment plus facile, plus expéditive.

3° En cas de rupture d'un rail, son remplacement peut se faire d'une manière presque instantanée.

4° Si l'un des champignons est usé, l'autre peut faire encore un long service.

5° Monté sur coussinets en fonte, il permet d'enfouir profondément les traverses dans le sol, ce qui tend à consolider l'ensemble de la voie tout en conservant le bois pendant un laps de temps plus long qu'en le laissant exposé à l'air.

6° Monté avec les cornières en fer, il présente tous les avantages du rail à patin sans en avoir les inconvénients.

7° Il n'oblige pas d'employer pour sa fixation sur les traverses des crampons dont la solidité d'attache n'est jamais parfaite. Lorsque les crampons s'ébranlent dans leurs trous, il faut percer d'autres trous, ce qui, au bout de quelque temps, compromet la résistance de la traverse qui pourrit beaucoup plus vite[1].

1. M. Couche, dans un intéressant mémoire sur la forme à donner aux rails, s'étonne de ce que, préférant le rail à simple champignon, certaines compagnies n'aient pas adopté le rail Vignolles. On voit, par l'extrait que nous donnons de la note de M. Goschler, que l'emploi du rail à patin soulève des objections qui ne s'appliquent pas au rail à simple champignon ordinaire. Si aux chemins de l'Est nous n'avons pas considéré ces objections comme étant de nature à faire rejeter le rail Vignolles pour les embranchements où l'on ne marche pas à de grandes vitesses et où la circulation n'est pas très-active, elles nous ont paru assez graves pour nous faire hésiter à l'employer sur nos lignes principales, qui sont beaucoup plus fatiguées. Nous avons adopté le rail à simple champignon ordinaire, parce que nous avions pu apprécier ses avantages et ses inconvénients par nôtre propre expérience. Nous savons que ce rail est un peu moins résistant à la flexion que le rail à double champignon ; mais la résistance à la flexion n'est pas la seule qualité requise d'un rail. Quant à la propriété de pouvoir se retourner, qui appartient au rail à double champignon, elle est incontestable; mais nous persistons à soutenir qu'elle a beaucoup moins de prix qu'on ne le prétend. Le rail retourné ne fait, le plus souvent, qu'un mauvais service. Le rail à simple champignon déjà adopté par plusieurs ingénieurs des nouvelles lignes, vient de l'être aussi par l'ingénieur des chemins piémontais. Ce dernier diffère peu du rail du chemin de Mulhouse.

Sur la ligne d'Aschaffenbourg à Bamberg, où l'on emploie un rail de 34k,5 à deux champignons non symétriques, on se sert de coussinets intermédiaires, en fonte, du poids de 8k,75, ayant 52 millimètres d'épaisseur à la semelle. Ces coussinets sont fixés sur la traverse au moyen de longs clous barbelés, ayant une tête plate de 50 millimètres de diamètre et une tige à section carrée de 11 millimètres de côté. Ces clous s'enfoncent dans des bondes en bois affectant la forme d'un tronc de cône qui aurait 30 millimètres de hauteur, 42 millimètres de diamètre en haut et 35 millimètres en bas. Ces bondes remplissent exactement les trous du coussinet.

Ce mode d'attache du coussinet nous a paru digne d'être signalé à l'attention des ingénieurs qui pourraient avoir à substituer des attaches métalliques aux chevilles en bois que l'on emploie dans quelques circonstances.

L'emploi des éclisses est devenu général en Allemagne; mais, avec le rail Vignolles, on n'a pas été conduit, comme en France et en Angleterre, où l'on se sert du rail à coussinets, à poser les joints en porte à faux. Bien plus, l'expérience a démontré que la forme du champignon adoptée jusqu'ici produisait sur l'ensemble des éclisses l'effet d'un coin qui transmettait aux faces inclinées des éclisses l'effort exercé par le poids des véhicules, effort tendant à écarter les éclisses du rail et par suite à faire rompre les boulons.

On a, pour consolider l'assemblage, employé des boulons à double écrou, moyen coûteux et qui n'est qu'un palliatif insuffisant.

Voulant obvier à cet inconvénient grave, quelques ingénieurs ont cherché à transformer l'effort exercé obliquement par le champignon sur les éclisses en un effort opérant verticalement. A cet effet, ils ont rendu horizontal l'épaulement du champignon, de telle sorte que celui-ci affecte une forme quasi-rectangulaire.

Cette disposition a en effet l'avantage de soulager les éclisses et leurs boulons. Nous devons ajouter qu'elle est indispensable lorsque l'on veut consolider les joints des rails à champignon

symétrique ou non symétrique au moyen de cornières analogues à celles employés sur la ligne de Paderborn ou sur celle de Bamberg.

Le rail repose alors directement sur la traverse par un champignon inférieur, il est soutenu des deux côtés par des cornières en fer qui sont réunies au moyen de boulons. Deux cas se présentent : ou bien les cornières et le rail portent en même temps sur le bois, ou bien le rail seul est en contact avec la traverse. Dans le premier cas le serrage n'est pas complet; dans le second l'effort se transmet immédiatement sur les boulons, et il ne tarde pas à produire un ferraillement que l'on ne parvient à éviter qu'en faisant porter le patin de la cornière sur la traverse par son extrémité seulement.

Au Sommering, les rails, quoique très-lourds, s'écrasent sous le poids des machines Engerth. On est sur le point d'assayer des rails composés en partie d'acier puddlé.

ACCESSOIRES DE LA VOIE.

Nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit des accessoires de la voie dans notre premier volume. Nous extrayons les lignes suivantes sur les accessoires de la voie en Angleterre de la note de M. Grenier et sur les accessoires de la voie en Allemagne de la note de M. Goschler.

Changements, croisements et plaques. — Sur la ligne Great Northern, on a fait l'essai de changements et croisements de voie dans lesquels le boudin des roues porte dans la traversée de l'aiguille ou du cœur; à cet effet, l'aiguille présente une saillie dans le bas et sur la moitié de sa longueur pour recevoir le boudin ; le cœur est disposé avec la patte de lièvre d'une manière analogue pour faire porter le boudin dans la traversée de la pointe.

Ce système de changements et croisements de voie aurait une durée plus grande que ceux ordinaires placés dans les mêmes conditions dans la proportion de 11 à 5.

On emploie aussi, sur les voies principales, des plaques tournantes en fonte à deux voies, disposées de façon à ce que le boudin des roues porte sur des plans inclinés dans la traversée des entailles.

On essaye depuis quelque temps d'introduire l'emploi de l'acier dans la confection des aiguilles et des pattes de lièvre pour les changements et croisements de voie. Les résultats obtenus sur le chemin de Minden et sur celui de Saarbruck paraissent assez satisfaisants. Il reste à savoir quel sera l'effet de barres d'acier rigide sur les bandages des véhicules.

Sur plusieurs lignes les ingénieurs ont cherché à diminuer l'usure des pattes de lièvre en ménageant au boudin des bandages une partie qui rachète la solution de continuité existant entre les points de cœur et la patte de lièvre. Nous n'avons pas entendu faire à ce mode de construction les reproches qu'on lui adresse en France relativement à la difficulté que doivent éprouver les machines, principalement celles à essieux couplés, quand elles roulent sur les boudins de leurs roues.

Une disposition que nous avons remarquée dans toutes les gares que nous avons visitées, c'est l'indication de la position des aiguilles; le jour, au moyen d'un disque d'une forme quelconque; la nuit, par des lanternes à feu coloré. Cet arrangement offre l'avantage : 1° de montrer aux mécaniciens le sens dans lequel ils engagent leur train; 2° de renseigner immédiatement le chef de gare sur l'exécution des ordres qu'il doit donner pour la manœuvre des aiguilles.

Au chemin de l'Ouest, en France, on vient également de disposer les aiguilles de manière à ce qu'elles maneuvrent un disque en se déplaçant.

Mâts signaux. — Les mâts signaux généralement employés aujourd'hui, sont les signaux à ailettes, se manœuvrant à poste fixe ou à distance. Ceux à distance sont à un fil avec contre-poids; à l'aide d'une tringle en fer on manœuvre en même temps les ailettes et les verres rouge, blanc ou vert des lanternes. Ces mâts signaux ont de 15 à 20 mètres de hauteur;

la lanterne est placée ordinairement un peu en contre-bas des ailettes sur l'un des côtés du mât. Quelquefois elle se trouve au sommet.

Signaux électriques. — On fait usage de la télégraphie électrique pour maintenir la distance voulue entre les trains.

Dans les parties très-fréquentées, comme au Great Northern, sur 32 kilomètres, à partir de Londres, on a placé tous les quatre kilomètres des postes télégraphiques, qui ne permettent pas à deux trains consécutifs de s'engager à la fois sur le même cantonnement.

DE LA DISPOSITION DES GARES.

Stations du chemin de l'Est. Dans les stations construites sur le chemin de Strasbourg, dont le plan a été donné p. 71, et sur plusieurs autres lignes, le bureau de distribution des billets n'a pas de sortie sur la voie. Cette disposition ne présente aucun inconvénient pour les stations du premier ordre où les billets sont distribués par un employé spécial portant le nom de receveur. Il n'en est pas de même pour celles d'un ordre inférieur, où la distribution des billets est faite par le chef de station. C'est ce qui a conduit à en modifier pour ces stations le plan comme l'indique la figure 498.

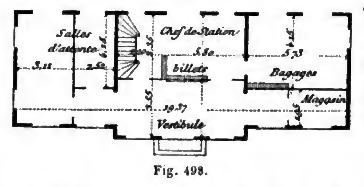


Fig. 498.

Service des bagages et messageries. — L'installation du service des bagages et des messageries dans une gare extrême de chemin de fer est d'une grande importance. Nous donnons aux documents une note de M. Eugène Flachat sur cette installation aux chemins du Nord, d'Orléans, de l'Est, de l'Ouest et de Lyon.

Enfin, nous empruntons aux notes déjà citées de MM. Gre-

nier et Goschler les indications suivantes sur les stations anglaises et allemandes.

Extension des gares. — Le trafic des chemins de fer a atteint, en Angleterre, un développement considérable ; aussi a-t-on été obligé, pour faire face aux besoins de l'exploitation, d'augmenter partout l'étendue des gares de tête et de jonction de lignes, de modifier les bâtiments de voyageurs et les halles de marchandises, ou de faire des constructions nouvelles.

Au chemin Great Northern, à Londres, par exemple, la surface totale des gares de marchandises et de voyageurs est aujourd'hui de 35 hectares environ ; la surface couverte en halles de marchandises est de 2 hectares 10 environ, y compris une halle à grains de 2100 mètres superficiels et à six étages.

Les autres gares de chemins de fer, à Londres, reçoivent un accroissement semblable.

Gares extrêmes de voyageurs. — L'ensemble des gares de voyageurs et de marchandises du Great Northern forme en plan l'éventail sur les voies principales ; la gare des voyageurs se trouve en contre-bas de 10 mètres par rapport à celle des marchandises ; l'on arrive par une pente de $0^{m},01$ par mètre à la gare des voyageurs, et au contraire par une rampe de $0^{m},01$ à celle des marchandises.

Il y a quatre voies principales sur 1600 mètres de longueur.

La halle des voyageurs a 240 mètres de longueur ; le comble se compose de deux arcs en bois en plein cintre de 33 mètres chacun d'ouverture, recouvrant ensemble 14 voies, dont 10 servent de voies de remisage ; un chariot Dünn, situé au milieu de la longueur et deux files de plaques tournantes, l'une en tête et l'autre au fond de la halle, suffisent pour la manœuvre des voitures. De cette manière les trains sont plus vite composés et décomposés que si l'on avait les remises en dehors de la halle. Les quais de voyageurs ont $4^{m},50$ dans la première moitié de la longueur et 6 mètres dans l'autre moitié. Un passage couvert, de 8 mètres de largeur,

règne dans toute la longueur de la halle, du côté de la sortie, en dehors des grands arcs. Symétriquement, du côté du départ, se trouvent les billets, salles d'attente, salles de bagages, messageries et un buffet. Une passerelle existe en tête de la halle pour communiquer d'un quai à l'autre. Cette passerelle est suspendue à la charpente des combles.

Gares de marchandises. — Les halles de marchandises forment un vaste bâtiment dont le pignon de tête fait façade sur le quai du canal. Ce bâtiment est divisé en trois corps : celui du milieu est un entrepôt de céréales dont l'importance a été indiquée ci-dessus ; les deux corps latéraux sont des halles ordinaires, l'une pour le départ, l'autre pour l'arrivée des marchandises de toute espèce. Il y a dans chacun de ces trois corps de bâtiment un embranchement du canal régnant au-dessous des quais et dans toute leur longueur pour le transbordement des marchandises ; le canal se trouve à un niveau tel que les bateaux passent sous les voies transversales. Les voitures entrent par l'extrémité des hangars, lesquels sont complétement fermés latéralement. Chaque quai de marchandises se trouve compris entre une voie charretière et une voie de fer ; la première a 9 mètres de largeur, l'autre a 4 mètres entre mur et quai; la hauteur sous entrait au-dessus du quai, est de 7 mètres.

La manœuvre des grues de chargement et des plaques tournantes se fait par des machines à colonne d'eau. Une machine à vapeur élève l'eau du canal à l'aide de quatre pompes dans une colonne en fonte, et un accumulateur d'Amstrong exerce sur la colonne d'eau une pression de cinq atmosphères.

Les machines à colonne d'eau commencent à être très-répandues en Angleterre ; elles sont employées, non-seulement pour les grues de chargement, mais encore pour la manœuvre des grandes plaques tournantes, celles des portes d'écluses, le chargement du coke, etc.

Le transport de la houille sur ce chemin est assez important; l'on en reçoit, en moyenne, à la gare de Londres, 2000 tonnes par jour.

Cette houille est reçue par deux séries d'estacades. La première série est établie parallèlement au canal; les wagons se déchargent directement dans les bateaux.

La deuxième série d'estacades, située entre la première et les halles des marchandises, est destinée aux houilles chargées en sacs sur des charrettes pour être envoyées en ville ; elle se compose de quatre voies recouvertes par un hangar de 150 mètres de longueur; les wagons se déchargent par le fond dans des espèces d'entonnoirs au bas desquels se trouve une petite bascule de pesage. Ces entonnoirs sont disposés sur des lignes perpendiculaires aux voies de fer et séparées dans le bas des estacades par des chaussées sur lesquelles les charrettes viennent se placer. Deux hommes apportent un sac vide sur la bascule pour le remplir en ouvrant la trappe de l'entonnoir; la bascule donne le poids du sac de charbon que les hommes glissent sur la charrette. On peut charger directement dans les charrettes lorsqu'on n'a pas à peser la houille.

Les transports en ville se font par la compagnie elle-même, qui occupe à cet effet 500 chevaux dont les écuries dépendent de la gare.

Stations intermédiaires. — Les stations intermédiaires du Great Northern sont construites très-économiquement; les quais de voyageurs ont de $3^{m},50$ à 4 mètres de largeur; du côté opposé au bâtiment des voyageurs on a construit des abris très-légers en bois avec clôtures en planches dans les bouts et sur le fond. Ces abris, placés à 2 mètres de distance du bord du quai, ont 2 mètres de large sur 25 mètres de longueur, et le toit s'avance jusqu'à l'aplomb de l'arête du quai. Ces petites constructions sont d'un aspect très-satisfaisant.

Sur le South Eastern, les abris sont plus rapprochés du bord des quais; les poteaux de support, espacés de 3 mètres, sont seulement à $0^{m},60$ du bord du quai; mais ces abris ont tout au plus 9 à 12 mètres de longueur; leur largeur est de 3 mètres.

Au chemin de Douvres, à la station d'Ashford, les quais ont $3^{m},50$ de largeur; une marquise de chaque côté recouvre

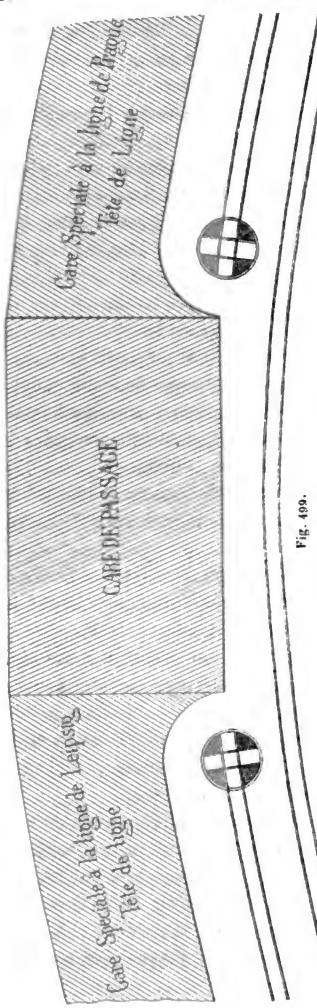


Fig. 499.

le quai et la voie y attenant; il y a au milieu, deux autres voies non couvertes ; ces marquises sont formées chacune de neuf travées de 5 mètres.

Il y a des salles d'attente et des bureaux de billets des deux côtés du chemin de fer.

Un passage pardessus les voies se trouve en tête de la station pour aller d'un quai à l'autre.

Le système des gares généralement suivi en Allemagne ne présente rien de saillant, si ce n'est qu'il est fort incommode sous le rapport de la manutention des véhicules.

Nous ne passerons pas sous silence la nouvelle gare des voyageurs de Leipsig à Dresde. Bien que conçue dans l'ordre d'idées qui a dominé la construction des

gares en Allemagne, elle présente une particularité qui mérite d'être signalée.

Cette nouvelle gare sert : 1° de tête de ligne pour le chemin de Leipsig à Dresde ; 2° de tête de ligne de Dresde à Prague ; 3° de gare de passage pour les trains directs de Prague à Leipsig.

L'ingénieur en chef qui a conçu le projet aujourd'hui en cours d'exécution, a résolu le problème d'une façon assez heureuse. La figure 499 en donne une idée sommaire.

DES VÉHICULES.

Frein Bricogne. — M. Bricogne, ancien élève de l'Ecole centrale, ingénieur-inspecteur principal du matériel au chemin de fer du Nord, a exposé un nouveau frein dont voici la description :

On reproche aux freins ordinaires à manivelle la lenteur avec laquelle le service s'opère. Le frein de M. Bricogne a pour objet de remédier à cet inconvénient.

Un bloc de fonte de 150 à 200 kilog. est retenu en l'air entre des glissières verticales par un déclic d'arrêt. Le garde-frein déplace ce déclic de 1 centimètre seulement ; aussitôt le bloc tombe par sa pesanteur. La pression résultant de cette chute se transmet sur les roues du véhicule par l'intermédiaire de leviers à bras inégaux et de sabots. Avec un cric le garde-frein augmente cette pression ; avec le même cric il relève ensuite le bloc pour désenrayer.

D'après le rapport des bras de levier, le poids du bloc et les proportions du cric (l'effort exercé par l'homme étant évalué à 20 kilog.), voici quelles sont les pressions exercées :

Wagons à voyageurs. Poids du bloc. 150 kilog.

Pression résultant de la chute. . .	1428 kilog.
Pression avec le cric.	1643
Pression totale. . .	3071

Wagons à bagages. Poids du bloc. 150 kilog.

Pression due à la chute.	1428 kilog.
Pression avec le cric.	2528
Pression totale. . .	3956

Wagons à marchandises. Poids du bloc. 200 kilog.

Pression due à la chute. . . . . ,	2250 kilog.
Pression due au cric.	2528
Pression totale. . .	4778

Ainsi, avec un poids de 150 à 200 kilog. qui tombe librement, on produit sur les roues une pression de 1428 à 2250 kilog. en une seconde ou deux.

Avec un cric de dimension restreinte on augmente cette pression du double au triple.

Avec ce même cric on relève le bloc en développant un effort de 13 à 18 kilog.

Ce frein fonctionne bien, mais on y fait les objections suivantes : 1° il coûte 400 francs de plus que les freins ordinaires, soit 1000 francs au lieu de 600 ; 2° on peut le placer assez facilement à l'intérieur des wagons à bagages, mais il y occupe une place dont on pourrait tirer parti ; 3° dans les wagons à voyageurs, où on ne peut le placer qu'extérieurement, son emploi présente plus de difficultés. On est alors obligé, ou de le loger à côté de la guérite du garde, dans une niche pénétrant dans l'intérieur du wagon et occupant alors une place de voyageur, ou de l'établir dans la guérite même en l'élargissant, ce qui augmente sensiblement le poids en porte à faux de la guérite, poids qui est déjà trop grand. Des inconvénients semblables se présenteraient pour les wagons à marchandises où la vigie est placée extérieurement.

M. Bricogne répond à ces objections en ces termes : 1° On ne peut manœuvrer commodément les freins ordinaires qu'en leur réservant dans les wagons à bagages une place presque aussi grande qu'aux freins à contre-poids ; 2° on évite les inconvénients du porte-à-faux en modifiant la position des es-

sieux; 3° l'augmentation de prix est bien compensée par les avantages que promet le frein à contre-poids.

Frein Guérin. — Nous devons faire aussi mention du frein automoteur de M. Guérin, essayé avec succès au chemin d'Orléans. Nous en empruntons la description suivante à une note lue à la Société des ingénieurs civils par M. Fourquenot.

« Dans les divers freins généralement employés sur les chemins de fer, le serrage des sabots contre les roues est déterminé par l'effet produit sur une manivelle manœuvrée par le conducteur. Dans son appareil, M. Guérin utilise pour cet objet la pression qui a lieu sur les ressorts de choc des wagons composant un train en marche, lorsque le mécanicien, pour l'arrêter, ferme le régulateur de la machine et fait serrer le frein du tender.

« Pour arriver à ce résultat, il place sur l'arbre du frein deux leviers dont les extrémités se prolongent contre le ressort de choc d'arrière du wagon, de chaque côté de ses guides. Ces leviers servant de point d'appui au ressort, le frein fonctionnera dès que la rentrée des tampons aura lieu. On conçoit dès lors que, pour refouler un train en arrière, il faut que cet effet puisse être neutralisé.

« Ce but a été très-heureusement atteint au moyen d'un mécanisme simple et ingénieux qui a été composé de la manière suivante :

« 1° D'une pièce fourchue (*adc*) (fig. 500) fixée sur la traverse d'arrière des châssis, et articulée de manière à se baisser pour servir d'appui à l'embase de la tige du crochet de traction, ou à se soulever pour la laisser libre;

« 2° D'un levier vertical (*bf*), muni d'un contre-poids (*l*), communiquant au moyen d'une tige (*gh*) son mouvement à la pièce fourchue (*adc*);

« 3° D'un manchon (M), de forme particulière, monté sur l'un des essieux et pivotant à une certaine vitesse par l'action de la force centrifuge. Ce manchon présente en son milieu une gorge d'une profondeur convenable.

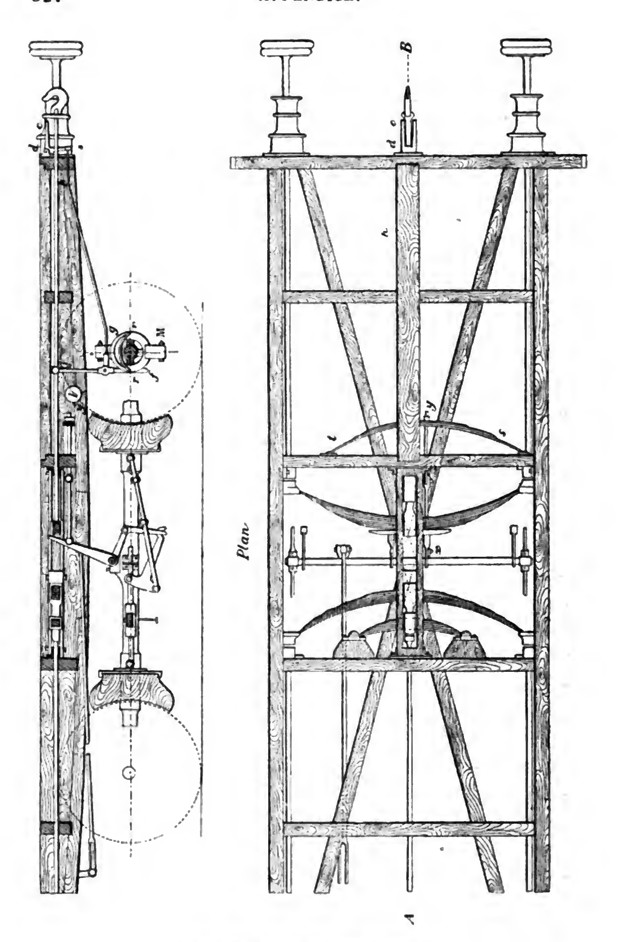


Fig. 500. *Frein automoteur Guérin.*

« Lorsque le train est animé d'une vitesse supérieure à 10 kilomètres, le manchon (M) change de position et présente au levier (*bf*) sa partie creuse; le contre-poids (*l*) agit pour soulever la pièce fourchue, la dégage de l'embase du crochet de traction et permet le recul du ressort de choc. Le frein peut alors se serrer sous l'influence de la rentrée des tampons.

« Au contraire, lorsque le train est au repos ou animé d'une vitesse inférieure à 10 kilomètres, le manchon (M) est ramené contre l'essieu par deux ressorts en spirale (*rr'*); et, dans cette position, il présente au levier (*bf*) son plus grand diamètre; il laisse ainsi la pièce fourchue (*adc*) intercalée entre la traverse du châssis et l'embase de la tige de traction. Cette pièce sert alors d'appui au ressort de choc, qui peut remplir ses fonctions ordinaires sans transmettre aucun mouvement au frein.

« Pour compléter l'appareil, il a été placé un ressort de rappel (*st*), fixé au moyen d'une tige (*xy*) à l'un des leviers de l'arbre du frein. Ce ressort, composé de trois feuilles à une tension initiale de 4 à 500 kilogrammes, a pour but de ramener à sa place le ressort de choc en desserrant le frein. Il empêche aussi que la rentrée des tampons, et, par conséquent, l'action du frein ait lieu sous une faible pression, comme cela pourrait arriver lorsqu'un train descend une rampe sans vapeur.

« Il y a lieu de remarquer, en outre, que rien n'est modifié dans la manœuvre ordinaire du frein au moyen de sa manivelle, et que l'action de l'appareil automoteur n'exclut pas celle du garde-frein. On peut parer ainsi aux éventualités qui pourraient se présenter.

« C'est au mois de février 1854 que M. Guérin vint proposer à la compagnie d'Orléans son frein automoteur. Malgré quelques imperfections, il fut jugé applicable. Depuis lors ces imperfections ont été écartées, et il fonctionne régulièrement depuis deux mois. Le parcours qu'il a effectué est d'environ 2500 kilomètres; le nombre d'arrêts qu'il a exécutés est de 7 à 800. Tous se sont produits avec la même exactitude et sans aucune altération visible du mécanisme.

« En marche, dès qu'on commence à serrer le frein du tender, les sabots du frein automoteur s'approchent, et quelques secondes suffisent pour qu'il enraye les roues.

« Lorsque, avant de laisser arrêter le train complétement, on desserre le frein du tender, ou qu'on rend de la vapeur pour laisser continuer la marche, le frein automoteur se desserre à l'instant même, et fonctionne de nouveau dès que le frein du tender recommence à agir.

« Avec un train de huit voitures, marchant à la vitesse de 50 à 55 kilomètres, un seul frein automoteur aidé du tender suffit pour arrêter dans l'espace de 140 à 150 mètres. Il a été reconnu que quatre voitures suffisent derrière un frein automoteur pour le faire enrayer. On devra, dans la composition des trains, tenir compte de cette nécessité, et par conséquent l'on pourra mettre deux automoteurs dans un train de dix voitures, trois dans un train de quinze voitures, et ainsi de suite.

« Les avantages que présente l'appareil de M. Guérin sont assez évidents, il n'est pas nécessaire de les énumérer. Nous avons la conviction qu'il est appelé à rendre de grands services dans l'exploitation des chemins de fer. »

Matériel allemand. — M. Goschler s'exprime dans les termes suivants sur le matériel des chemins allemands.

On reconnaît aujourd'hui que les wagons à six et huit roues sont loin de rendre les services que l'on attendait de leur emploi. Sous le rapport de l'économie de transport les documents officiels indiquent que la proportion du poids mort au poids utile réellement transporté est considérable. Pour le service dans les gares les grands wagons sont embarrassants. S'ils sont chargés, on ne peut les manœuvrer qu'avec une machine même sans les faire changer de voie. Quand il faut opérer cette dernière manœuvre, comme l'écartement des essieux empêche l'emploi des plaques tournantes de petit diamètre, on doit faire les changements à la machine en conduisant chaque portion de train jusqu'aux aiguilles de changements. Il en résulte des frais considérables et des accidents fréquents.

Indépendamment de ces graves défauts, les wagons à six et huit roues sont cause d'une très-fréquente rupture des essieux, La statistique des chemins de fer prussiens publiée par les soins de l'administration a fait ressortir un fait digne de toute l'attention des Ingénieurs, à savoir que « sur 100 essieux brisés au service, plus de 60 provenaient de wagons à huit roues, 30 avaient été employés sous des wagons à six roues et le reste sous des wagons à quatre roues.

Les wagons sont tous munis d'un frein à sabots, manœuvré par un levier dont la longue branche s'élève au-dessus du niveau des caisses, ce qui permet d'enrayer tous les wagons en même temps.

MACHINES LOCOMOTIVES.

DÉTAILS.

Nous avons décrit dans le chapitre consacré aux machines envoyées à l'Exposition les machines le plus récemment construites.

Manomètres et robinets obturateurs. — Nous nous bor-

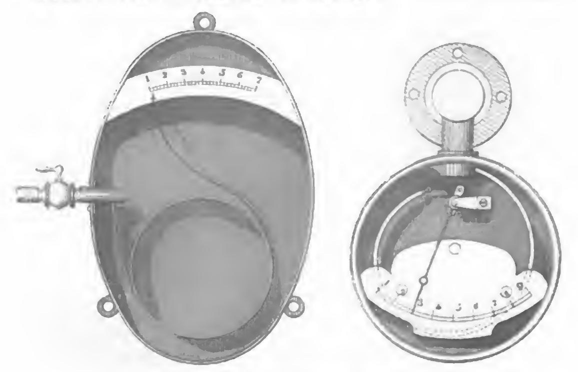


Fig. 501. *Manomètres de Bourdon.* Fig. 502.

nerons dans cet article : 1° à reproduire les dessins des diffé-

rents manomètres et des robinets obturateurs dont, à une nou-

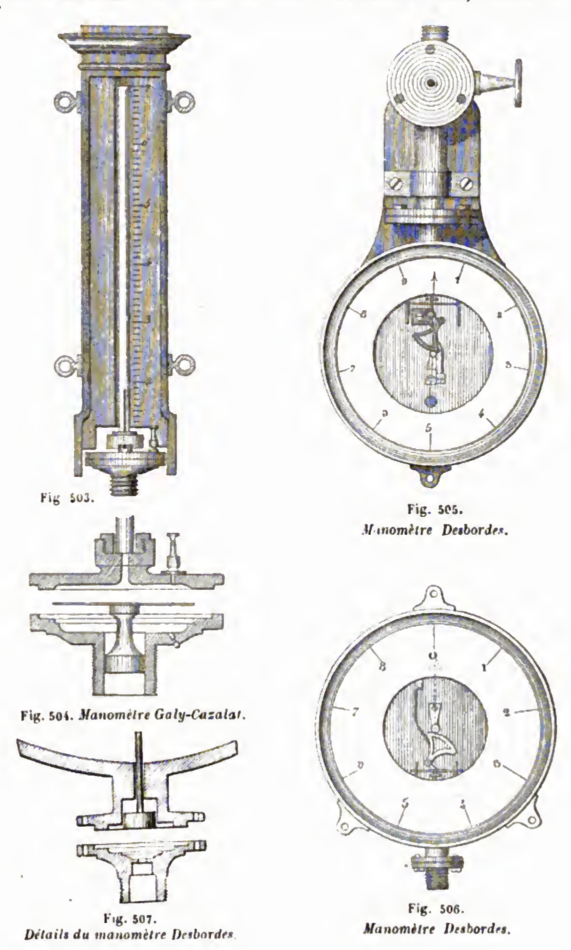


Fig. 503.

Fig. 505.
Manomètre Desbordes.

Fig. 504. *Manomètre Galy-Cazalat.*

Fig. 507.
Détails du manomètre Desbordes.

Fig. 506.
Manomètre Desbordes.

velle lecture, la description, donnée pages 271 et 273, ne nous a pas paru suffisamment claire ; 2° à décrire les essais faits

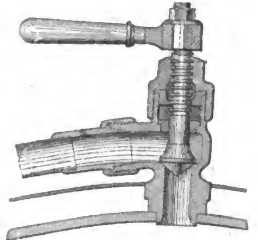


Fig. 508. *Robinet réchauffeur.*

Fig. 509. *Robinet graisseur des tiroirs.*

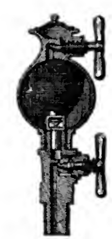



Fig. 510. *Robinet graisseur des cylindres.*

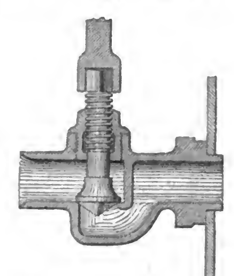


Fig. 511 *Robinet de vidange.*

récemment dans le but de substituer la houille au coke comme combustible.

ESSAIS POUR BRÛLER LA HOUILLE.

Dans l'origine des chemins de fer à grande vitesse, la houille fut entièrement proscrite comme combustible destiné à alimenter les locomotives, à cause de la fumée qu'elle produit. Le gouvernement français, aussi bien que le gouvernement anglais, stipula dans les cahiers des charges annexés aux actes de concession que les machines seraient fumivores, ce qui sup-

posait qu'elles ne brûleraient que du coke. Quelques ingénieurs reprochaient d'ailleurs à la houille d'entraîner en peu de temps la destruction des tubes de la chaudière.

Le coke devenant très-coûteux, et certaines compagnies telles que celle des chemins de l'est de la France, se trouvant même dans la presque impossibilité de s'en procurer les quantités qui leur étaient nécessaires, on fit des essais dans le but de remplacer le coke par des mélanges de houille et de coke, ou même par de la houille seule en brûlant la fumée de la houille.

L'emploi d'un mélange de coke et de houille n'a pas donné grande satisfaction. On a trouvé que malgré les soins apportés à la conduite du feu et le choix des charbons, le tirage nécessaire pour la combustion du coke était trop énergique pour la houille qui passait dans la boîte à fumée et obstruait les tubes En outre, la hauteur de la charge dans les foyers étant nécessairement considérable par suite de l'emploi du coke dans ce mélange, la combustion de la houille était très-incomplète ; grasse, elle produisait beaucoup de fumée; maigre, elle se désagrégeait et tombait en poussière en rendant la combustion difficile.

On a mieux réussi dans les essais faits pour employer de la houille seule en brûlant sa fumée. On est parvenu à rendre les foyers entièrement fumivores, du moins en ce qui concerne certaines espèces de houilles, et il y a lieu d'espérer que l'on parviendra à remplacer entièrement le coke par le combustible brut.

Ce résultat aurait une immense portée, non-seulement pour les compagnies de chemins de fer qui réaliseraient de grandes économies, mais encore pour l'industrie en général qui pourrait utiliser à l'état brut certaines variétés de houille réservées aujourd'hui en grande partie pour la fabrication du coke brut dans les locomotives. L'économie réalisée sur le seul réseau de l'Est par l'emploi général de la houille dans les locomotives ne serait pas de moins de 600 000 francs par an. Il sera donc

d'un grand intérêt pour nos lecteurs de connaître les appareils qui ont jusqu'à ce jour obtenu le plus de succès comme moyens de brûler la fumée : le foyer des machines Fairbairn ; la grille à gradins de MM. Chobrzynski, ancien élève de l'École centrale, ingénieur de la traction au chemin de fer du Nord, et de Marsilly, ingénieur au Corps impérial des mines ; et l'appareil de M. Dumery, ingénieur civil.

Machine Fairbairn. — Nous avons déjà fait mention de la machine Fairbairn, page 363. M. Chobrzynsky, ingénieur du matériel et de la traction, s'exprime sur cette machine dans les termes suivants :

« Cette machine (fig. 512), présente un foyer de $3^m,60$ de longueur, divisé en deux compartiments, suivi d'une chaudière tubulaire renfermant 400 tubes de $0^m,025$ de diamètre. Les roues motrices ont $2^m,20$ de diamètre, et leur essieu est logé dans un relèvement de la chaudière. L'essieu d'avant porte 8600 kilog., l'essieu moteur 6000 kilog. et l'essieu d'arrière 5000 kilog. Les ressorts sont en caoutchouc. Son tuyau d'échappement s'ouvre à $0^m,25$ plus bas que la cheminée, tandis que dans nos machines le tuyau d'échappement entre de $0^m,07$ à $0^m,11$ dans la cheminée. La somme de la section des tubes est à peu près la même que dans nos machines. Elle est très-légère.

« Elle n'a fait encore, sur le chemin du Nord, que 500 kilomètres, puisque après deux jours de marche elle a été forcée de rentrer à l'atelier, les ressorts en caoutchouc étant complétement fondus. Elle a un tirage si énorme que quand on ouvre la porte du foyer on entend un bruit pareil à celui d'un haut fourneau. Sa consommation est faible, car elle ne brûle que 5 kilog. de charbon, tandis que les Crampton, dans les conditions analogues, consomment 7 à 8 kilog. Elle est fumivore pendant la marche, et laisse échapper un peu de fumée pendant le repos. Elle vaporise beaucoup. Sa marche est bonne et elle présente une stabilité convenable.

« En Angleterre, il y a 25 de ces machines qui conduisent

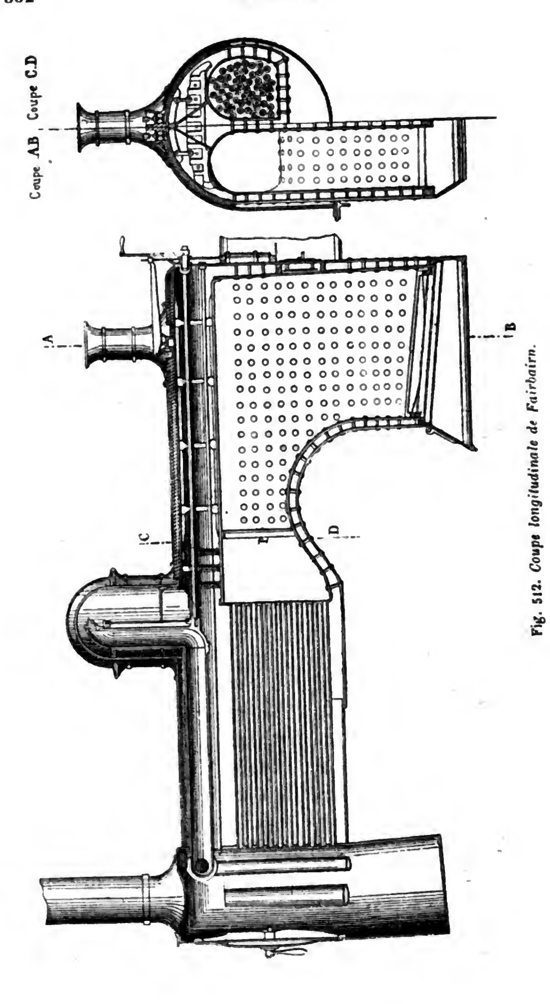


Fig. 512. Coupe longitudinale de Fairbairn.

les express, et qui rivalisent, de Londres à Liverpool, avec les machines du Great Western. Elles sont construites pour marcher à 8 atmosphères, et les épaisseurs de tôle ne sont que de $0^m,018$ et même de $0^m,010$, cependant les cuivres du foyer sont beaucoup plus minces qu'en France, ce sont là les véritables motifs de leur légèreté ; du reste, on arriverait aux mêmes résultats en France, si la réglementation ne prescrivait pas certaines épaisseurs qui n'offrent pas de garantie, parce qu'au lieu de rechercher les meilleures tôles, on vise au meilleur marché, pourvu que l'on soit couvert par l'épaisseur voulue par le règlement, tandis qu'en Angleterre, on recherche les meilleurs produits pour se garantir contre toute espèce de chance d'accidents.

« Il faudrait observer s'il n'y aurait pas économie à employer des foyers plus minces et à les remplacer plus souvent. »

Nous devons à l'obligeance de M. Chobrzynsky la communication du plan ci-joint de la machine Mac Connell; dans cette machine le foyer est immense et les gaz achèvent de se brûler au delà du pont P, dans la partie du foyer la plus voisine du corps cylindrique de la chaudière. Les tubes sont courts, mais ils sont nombreux et de petit diamètre. Malgré leur peu de longueur, l'air, suivant M. Chobrzynsky, en sortant de la boîte à fumée, est complétement dépouillé de sa chaleur et ils ne paraissent pas, malgré leur faible diamètre, s'obstruer trop facilement. Les houilles qui ne renferment pas au delà de vingt pour cent de matières volatiles et qui ne sont pas trop chargées de cendres, brûlent sans fumée sans qu'il soit nécessaire d'introduire de l'air frais au delà du pont P. Le foyer étant, ainsi que le montre la figure 512, séparé par un bouilleur, on ne charge jamais les deux demi-foyers en même temps, en sorte que l'un d'eux produisant de la fumée, l'autre admet un excès d'oxygène qui sert à brûler cette fumée.

On parviendrait peut-être à brûler la fumée de houilles renfermant une quantité de matières volatiles plus considérable

en introduisant dans de certaines proportions de l'air pur au delà du pont P.

Nous avons dit que les plaques en cuivre du foyer de la machine Mac Connell étant très-minces, laissaient passer facilement la chaleur. C'est à leur peu d'épaisseur que l'on attribue la faible consommation en combustible. Pour consolider ces plaques, M. Mac Connell a multiplié les entretoises, qui sont beaucoup plus rapprochées dans la machine de cet ingénieur que dans les machines ordinaires.

Grille Chobrzynsky. — Nous empruntons la description suivante de la grille à gradins (fig. 513 et 514) à un excellent mémoire publié dans le *Journal des ingénieurs civils*, par M. Chobrzynski.

« La répartition et l'arrangement du combustible en couches d'épaisseur uniforme sur toute la surface de ces grilles, donnent lieu à un grand développement de fumée, et, par suite, à une perte de matières volatiles, qui sont entraînées et échappent à la combustion. C'est surtout au moment du chargement que cet effet se produit avec le plus d'intensité, et l'on peut dire qu'il y a une proportionnalité directe entre l'incommodité due à la fumée qui s'échappe des foyers industriels et la consommation en pure perte d'une partie toujours très-considérable des éléments calorifiques contenus dans le combustible employé.

« En effet, au moment du chargement, il faudrait pouvoir introduire dans le foyer le maximum d'air nécessaire à la combustion des produits volatils mis en liberté par la distillation du combustible, et c'est précisément le contraire qui a lieu.

« Le combustible frais répandu sur la surface de la grille se gonfle d'abord en remplissant les interstices libres qui donnaient accès à l'air nouveau. La quantité d'oxygène admis dans le foyer est dès lors insuffisante à produire une combustion complète, et cette insuffisance est d'autant plus grande que le combustible employé est plus riche en hydrogène. Cette combustion incomplète, cette distillation, se traduit par un développement de carbure d'hydrogène gazeux, qui entraîne

à l'état de suspension le carbone, très-divisé, en produisant

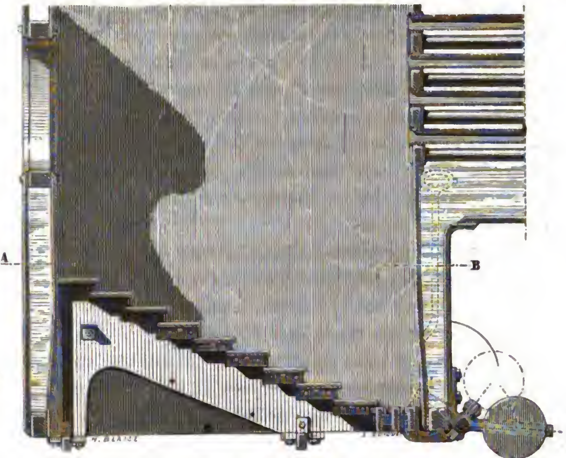


Fig. 513. *Coupe d'un foyer à grille Chobrzynsky.*

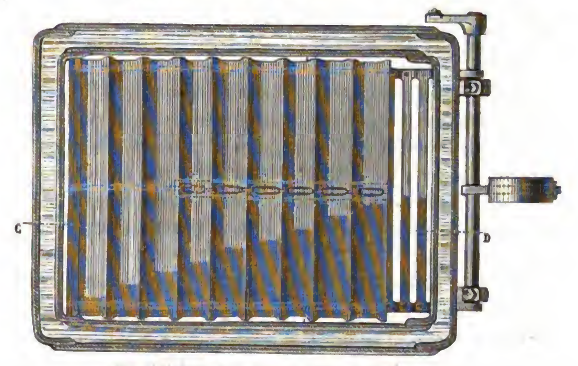


Fig. 514. *Plan d'un foyer à grille Chobrzynsky.*

une fumée d'autant plus épaisse que le combustible est lui-même plus riche en carbone et en hydrogène.

« Au contraire quand la combustion est bien établie et lorsque le foyer exige une nouvelle charge, les orifices libres sont relativement considérables, et l'air neuf est appelé en quantité trop grande ; une très-notable partie de cet air échappe à la combustion, s'échauffe aux dépens du calorique développé, et le foyer se refroidit en même temps que le combustible est absorbé sans effet utile. Sans doute, les soins du chauffeur peuvent amoindrir ces inconvénients ; mais quelque incessants qu'on les suppose, ils ne sauraient pas les faire disparaître complétement.

« Les grilles tournantes, celles qui reçoivent un mouvement de va-et-vient, les grilles formées par des chaînes sans fin et s'alimentant d'une manière continue par des trémies remplies constamment de charbon, sont dispendieuses ; elles exigent d'ailleurs l'emploi d'une force motrice qui les met en mouvement. Les deux dernières présentent en outre des difficultés spéciales pour conserver une distribution convenable, qui dépend de la ténuité et de l'état hygrométrique du combustible. Si la charge est trop grande, une partie du charbon tombe à l'extrémité de la grille opposée à la trémie et se perd dans le cendrier. Si elle est au contraire insuffisante, l'air entre en excès dans le fourneau et se refroidit.

« La grille fumivore à gradins est représentée fig. 513 et 514. Les barreaux plats et larges de cette grille sont disposés à la manière des marches d'un escalier et se recouvrent les uns les autres. A la suite de cette grille sont quelques barreaux disposés à la façon ordinaire ; le nombre et l'écartement de ces barreaux dépendent de la nature et de la pureté du combustible employé.

« Le combustible frais, placé contre la porte et sur les barreaux supérieurs de la grille à gradins, se distille ; sa fumée et la matière volatile, en arrivant vers l'autel ou vers les tubes des chaudières tubulaires, y rencontrent l'air, non brûlé, et préalablement chauffé par son passage à travers la houille carbonifiée, qui a gagné déjà la partie inférieure de la grille. Le

mélange de cet air avec les matières carburées volatiles, avec les gaz non brûlés encore, se produit dans les conditions voulues de température, et la combustion de ces divers produits gazeux s'opère de manière à arriver à leur transformation en acide carbonique d'une manière à peu près complète.

« Avec des charbons très-bitumineux, donnant beaucoup de fumée, la grille à gradins seule n'est pas complétement fumivore. Il s'en dégage encore de la fumée au moment où l'on charge le combustible nouveau. Pour obtenir un résultat complet il faut aider à l'absorption de cette fumée par une introduction directe et spéciale d'air chaud.

« Dans certains cas, la construction au-dessus de la partie inférieure de la grille de rampants ou voûtes permet de mieux diriger les produits volatils vers l'autel garni de briques creuses avec des sorties d'air chaud.

« Toutes les fois qu'on voudra arriver à des résultats complets il sera nécessaire d'employer des charbons fins ou tout-venants, qui produisent, à pureté égale, la même quantité de chaleur que les gaillettes ; ces dernières, se distillant plus difficilement que les fins, arrivent dans la partie inférieure de la grille sans avoir perdu toutes les matières volatiles, qui n'ayant plus dès lors qu'un léger parcours à faire pour arriver au-dessus de l'autel, circulent autour des générateurs sans avoir pu être brûlées par l'oxygène nécessaire à leur combustion complète.

« La grille à gradins permet l'emploi des houilles très-maigres et sèches, qui ont été jusqu'à présent dépréciées et même rejetées pour les usages des chaudières. Elle offre donc à l'industrie une ressource immense, au moment surtout où le combustible minéral semble manquer et devient chaque jour plus cher.

« Dans la construction des grilles à gradins il est nécessaire d'observer les règles suivantes :

« 1° Leur surface doit être généralement plus grande que celle des grilles ordinaires ; elle doit être d'un mètre carré pour 60 kilogrammes de houille consommés par heure.

« 2° La surface de l'entrée d'air entre les barreaux plats ou la

hauteur qui sépare chacun des gradins dépend de la nature du charbon à brûler et de l'énergie du tirage. On ne doit pas descendre au-dessous de 0^{m},18 d'entrée d'air par kilogramme de houille par heure. Avec les charbons très-collants, cette section devra être augmentée.

« 3° Le premier barreau, ou gradin supérieur, ne doit pas être éloigné de plus de 0^{m},25 du dessous de la chaudière. Les portes des fourneaux devront donc être relevées de 0^{m},10 à 0^{m},15 relativement à la hauteur usitée dans les foyers anciens.

« 4° Les barreaux ordinaires du fond de la grille doivent être placés sur des coulisses disposées en saillie sur les supports, de manière à pouvoir être remués et nettoyés facilement.

« 5° Les grands foyers de un mètre et au-dessus de largeur, d'après un conseil bienveillant de M. Combes, pourraient être divisés en deux parties par une cloison en briques. On chargerait alternativement deux foyers; les produits de la combustion seraient dirigés dans une chambre commune à l'autel, de manière à brûler complétement la fumée d'un des foyers par l'air chaud en excès de l'autre.

« 6° Pour rapprocher le combustible de la surface chauffée, il convient de placer les supports de ces grilles de manière à relever le bas de 0^{m},10 à 0^{m},12 par mètre.

« *Les essais faits avec des houilles de bonne qualité, sur le chemin du Nord, de la grille Chobrzynsky ont donné d'excellents résultats* consignés aux documents. On a trouvé sur ce chemin que non-seulement il y avait dans l'emploi de la houille économie d'argent mais encore amélioration de condition de production de vapeur; *sur le chemin de Strasbourg avec des houilles contenant une grande quantité de cendres et de matières volatiles la grille Chobrzynsky, n'a pas été fumivore et les barreaux fondaient en peu de temps.*

« *On a aussi observé sur le chemin du Nord que les barreaux de cette grille devaient être renouvelés plus souvent que ceux des grilles ordinaires, mais ils ne fondaient pas aussi rapidement que sur le chemin de Strasbourg.*

« *Les machines n'ont pas paru souffrir comme on supposait que cela serait, de l'emploi prolongé de la houille de bonne qualité.* D'après M. Sauvage, ingénieur en chef de la traction aux chemins de l'Est, il paraîtrait résulter de l'ensemble du service que les tubes se conserveraient mieux quand on emploie de la houille que lorsqu'on se sert de coke.

« Les tubes des machines alimentées au coke trouvent une cause d'usure dans le frottement des petites parcelles de coke entraînées par le tirage forcé des tuyaux d'échappement, tandis que les machines marchant à la houille conservent leurs tubes et ne subissent pas ces frottements, que ne peut produire le faible tirage qui suffit à la combustion. »

Appareil Duméry. — « Nous avons supprimé, dit M. Duméry, la grille du foyer (fig. 515), ou plutôt nous avons conservé de cette grille seulement les deux barreaux du centre. A chacun des deux rectangles formé par le côté des barreaux restants et les parois de la maçonnerie du foyer, nous avons, en enlevant les deux jambages du cendrier, fait aboutir deux cornets circulaires ayant une de leurs ouvertures donnant à l'intérieur du foyer et l'autre à l'extérieur de la maçonnerie.

« Ces cornets courbes, dont la partie convexe regarde le sol, sont à sections décroissantes de l'intérieur du foyer à l'extérieur de la maçonnerie, c'est-à-dire que l'extrémité qui aboutit dans le foyer a mêmes forme et dimension que le rectangle formé par l'enlèvement des barreaux, tandis que l'extrémité qui se relève à l'extérieur a subi sur ses quatre faces un rétrécissement d'environ 12 pour 100 sur l'axe moyen des cornets.

« Les deux extrémités de ces cornets sont complétement ouvertes; c'est par la petite section de l'extérieur que l'on introduit le combustible, et c'est dans sa plus grande ouverture, qui aboutit à l'intérieur du foyer, que s'accomplit la combustion. Cette dernière portion des cornets est garnie à son pourtour, c'est-à-dire sur ses quatre faces, de fentes destinées à l'admission de l'air atmosphérique.

« En regard de l'extrémité extérieure et concentriquement

avec l'axe moyen des cornets se trouvent, de chaque côté du foyer, un marteau ou piston circulaire s'engageant librement dans les cornets et servant à pousser le combustible au fur et à mesure que la combustion le réclame ; ces presseurs sont actionnés soit par une manivelle et des engrenages intermédiaires, soit par le moteur lui-même, au moyen d'embrayages *ad hoc*.

« Le tout est groupé autour d'un bâti en fonte, et forme un ensemble très-homogène, que l'on peut mettre en place sous un générateur quelconque, en n'interrompant son travail que pendant vingt-quatre heures.

« Les choses ainsi établies, on opère de la manière suivante :

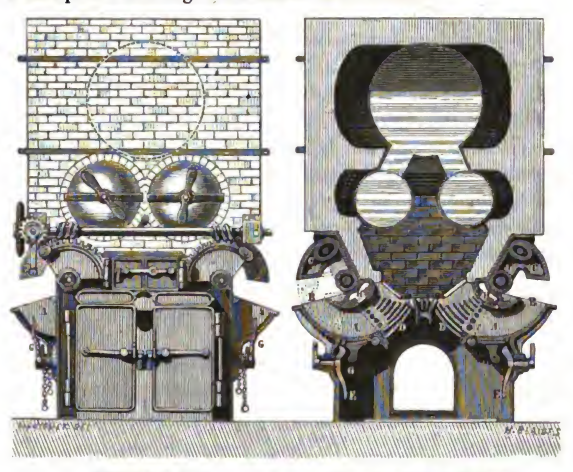
« L'on engage du charbon frais dans les cornets jusqu'à la naissance des fentes destinées à fournir l'air à la combustion ; sur ce charbon cru l'on place un lit de coke produit par la combustion de la veille ; puis, à l'aide des moyens ordinaires, c'est-à-dire des bûchettes et du coke on allume à la partie supérieure. Dès que le coke est allumé, il communique sa chaleur à la houille, qui distille et produit l'hydrogène carboné qui doit être comburé. Ce gaz, prenant naissance dans un lieu où règne la température de combustion, et précisément au moment de l'introduction de l'air frais, se combure en totalité, et l'intérieur du foyer ne reçoit que de la flamme toute formée et qui a joui, au moment même de sa formation, de tous les éléments nécessaires à son existence.

« Dès que le besoin s'en fait sentir, on pousse, à l'aide des marteaux presseurs, une charge de combustible, et l'opération continue ainsi sans interruption tant que le travail de l'usine l'exige.

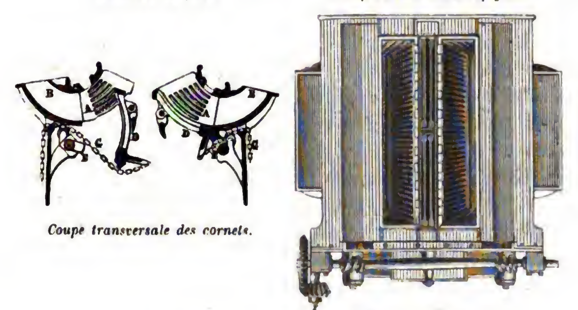
« Il n'est pas même nécessaire d'interrompre le feu pour les nettoyages : les scories, dans ces foyers, surnagent et se recueillent à la partie supérieure.

« Lorsqu'on veut cesser le feu, des portes sont ménagées à la partie inférieure des cornets, et permettent de retirer isolément, d'une part, le charbon cru que l'on remet avec son si-

milaire, et, d'autre part, le charbon incandescent, que l'on éteint pour l'allumage sans fumée le lendemain.



Elévation de face. *Coupe transversale du foyer.*



Coupe transversale des cornets.

Vue en plan du foyer.

Fig. 515. *Appareil fumivore de Duméry.*

« Voici quelles sont les conséquences de la disposition que nous venons de décrire :

« La houille, n'étant en contact avec la chaleur que par une des faces, ne se distille que d'un côté : c'est en quelque sorte une simple surface de distillation.

« L'air frais qui avoisine la grille sur laquelle repose le charbon froid est aspiré par le tirage et s'infiltre dans le foyer, en se mariant aux carbures d'hydrogène, au moment où ceux-ci prennent naissance.

« Ce mélange, parfaitement combustible, tout en suivant la direction naturelle due à sa densité, s'enflamme au contact de la couche incandescente qu'il traverse.

« Le développement de la flamme s'opère au-dessous d'une couche de combustible en complète ignition.

« Le rayonnement de la surface supérieure du combustible n'est pas interrompu par la superposition du charbon frais.

« La combustion s'effectue, à volonté, en couches épaisses ou minces, de manière à la maintenir à la hauteur la plus convenable pour la transformation complète de l'oxygène en acide carbonique.

« Toutes les fonctions pyriques deviennent régulières et continues.

« La grille se trouvant divisée en trois compartiments, le tirage peut s'activer isolément sur les parties qui contiennent la houille crue développant la fumée, ou sur la partie de la grille exclusivement couverte de houille passée à l'état de coke.

« Enfin, le chargement ne se faisant plus par la porte du foyer, tout le travail de la combustion s'accomplit en vase clos. Le foyer n'est ouvert qu'à des intervalles de trois à quatre heures, pour l'enlèvement des scories, qui se réunissent en un seul groupe au centre du foyer.

« C'est-à-dire qu'à l'aide de notre appareil, tous les phénomènes de la combustion sont inverses. La haute température que l'on rencontre aujourd'hui près de la grille se trouve reportée à la partie supérieure.

« La distillation, qui avait lieu à la partie supérieure, descend au contraire près de la grille; l'intermittence des fonctions pyriques est transformée en travail continu, malgré l'intermittence de la charge, et les fonctions de la combustion, d'intermittentes, d'irrégulières qu'elles étaient, deviennent continues, régulières et rationnelles.

« Après avoir énuméré les avantages théoriques, nous croyons qu'il ne sera pas inutile d'indiquer sommairement ce que la pratique recueille de facilités à l'application de cet appareil.

« La conduite du feu n'a plus rien de pénible; les chauffeurs ne sont plus incommodés par la chaleur du foyer, qui reste constamment clos.

« Les nettoyages du feu sont beaucoup plus rares et beaucoup plus faciles.

« Il n'y a plus de cendres à emmagasiner, à tamiser et à jeter; les résidus solides se convertissent tous en scories.

« Les barreaux acquièrent une beaucoup plus grande durée; ils ne se détruisent plus par la concentration de la chaleur près de la grille.

« La puissance du générateur est augmentée par la présence de l'appareil.

« La quantité de combustible consumée dans un même foyer peut varier dans le rapport de 1 à 6.

« La mise en marche est plus prompte.

« Enfin il y a dans l'obéissance du foyer, considéré comme outil, une sensibilité sur laquelle nous ne saurions trop appeler l'attention; sensibilité ou promptitude d'effets très-appréciable dans les établissements où l'on est susceptible d'embrayer subitement une ou plusieurs machines très-puissantes, mais plus appréciable encore pour le service des chemins de fer, sur lesquels des accidents, malheureusement très-regrettables sont souvent la conséquence de machines en détresse faute de pouvoir remonter en pression dans un temps court.

« Avec cet appareil, les mécaniciens ne sont plus obligés d'attendre les moments favorables pour ouvrir le foyer et l'alimenter de combustible; ils peuvent ingérer le charbon dans tous les moments et même dans les rampes. Il y a donc là, au moins pour ce cas, une cause d'accidents entièrement supprimée.

« Ces différents résultats sont la conséquence de :

« 1° La marche ascensionnelle du combustible;

« 2° Le mélange de l'air et l'allumage des gaz au-dessous du foyer. »

Le système Duméry a été essayé aux chemins de l'Est pour l'alimentation du foyer d'une machine fixe. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant publié dans le Bulletin de la Société d'encouragement. L'exactitude en est certifiée par M. Maréchal, inspecteur du matériel au chemin de fer.

LIBELLÉ.	FOYER DUMÉRY. La surface est de 62 d.	FOYER ORDINre. La surface est de 68 d.	EXCÉDANT en faveur du foyer DUMÉRY.	
			absolu.	proportionnel.
Maximum d'eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe et par heure..........	k. g. 51.75	k. g. 28.50	23.25	45 0/0
Maximum de houille brûlee par heure. Tout-v., Sarrebruck...	120	107	13	12 0/0
Maximum de houille brûlee par heure. Gaillette, Sarrebruck..	150	112	38	26 0/0
Maximum d'eau vaporisée par kil. de houille.	6.73	5.23	1.5	23.3 0/0
Moyenne d'eau vaporisée par kil. de houille. Sarrebruck.........................	5.99	4.75	1.24	20.8 0/0
En tenant compte de la note, la moyenne d'eau vaporisée devient............. ...	6.08	4.75	1.32	21.9 0/0

De ce petit résumé il résulte :

1° Que la puissance productrice des générateurs est presque doublée par la seule présence de ce nouveau foyer, ou, ce qui équivaut, que le poids et le volume des générateurs peuvent être considérablement réduits ;

2° Que la quantité de houille consommée par une même surface de grille peut être élevée à quatre fois la moyenne de la consommation habituelle ;

3° Enfin que le rendement en vapeur est supérieur d'une quantité qui varie de 21.9 à 23.3, soit d'une moyenne de 22 3/5 p 0/0.

Des expériences du même système ont été faites au chemin d'Orléans. Elles n'ont pas, jusqu'à présent, donné de résultat favorable.

DOCUMENTS.

NOTE SUR L'INSTALLATION DU SERVICE DES BAGAGES DANS LES GARES A PARIS, DES CHEMINS DU NORD, LYON, ORLÉANS, STRASBOURG ET L'OUEST.

Le service du transport des colis comprend les divisions suivantes :

1° Bagages des voyageurs.
2° Articles de messageries.
3° Douane.
4° Marchandises à grande vitesse.

Chacune de ces séries se subdivise en service de *départ* et service d'*arrivée.*

1° BAGAGES DES VOYAGEURS.

Départ.—Chacune de ces cinq gares place le bureau de départ dans des positions différentes. Sur Lyon et Orléans, il est situé parallèlement à la voie correspondante en un point de la longueur de la gare. A l'Est, il est disposé à l'extrémité de la gare et perpendiculairement aux voies. Au Nord, il est dans l'angle inférieur de la gare. Ces deux dernières dispositions ont l'inconvénient de faire parcourir aux bagages un grand espace entre leur lieu de livraison à la Compagnie et leur mise en place dans le wagon ; tandis que sur les deux autres chemins, les colis n'ont pour ainsi dire que le quai à traverser.

La salle de Saint-Germain est infiniment trop petite; elle ne servira plus que pour les trains de banlieue, lorsque seront construites une voie et une autre salle spécialement destinées à la grande ligne.

La salle du Nord, resserrée dans un espace limité, offre un grand développement de tables au moyen des sinuosités qu'on leur fait subir, mais est loin de présenter la simplicité et la commodité des salles de Lyon et Orléans.

Sur ces deux lignes la salle, s'allongeant parallèlement à la voie, renferme simplement une table coupée de distance en distance par des bureaux. Un bureau unique présenterait, quelques minutes avant le départ, un encombrement préjudiciable au rapide écoulement des colis. Lyon et Orléans divisent leur salle par section ou par embranchement. Orléans, par exemple, emploie :

1re partie de la table pour les bagages en destination d'Orléans.			
2e	id.	id.	Bordeaux.
3e	id.	id.	Nantes.
4e	id.	id.	Centre.

Chaque portion de table ayant sur la gare des sorties directes et correspondantes, le classement et la manutention se font rapidement et sans désordre.

Orléans et Lyon ont ainsi quatre bureaux d'enregistrement des bagages, l'Est deux, le Nord en a trois, mais disposés moins commodément que sur Orléans à cause de la concentration des voyageurs sur un même point.

Le Nord comprend de plus une salle de consigne fermée, avec un employé spécial, pour les bagages déposés longtemps avant le départ des trains, ou que, pour un cas fortuit, le voyageur préfère ne pas emporter : régulièrement ces bagages ne sont reçus et rendus que contre un reçu à souche.

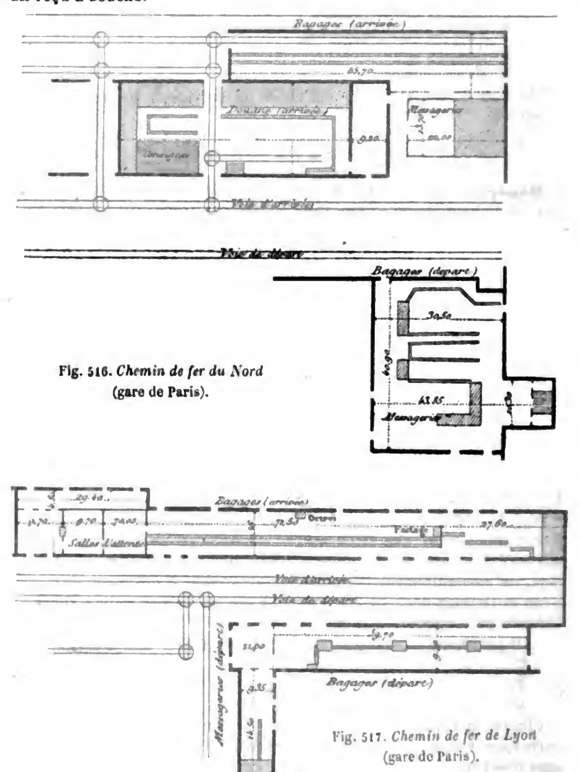


Fig. 516. *Chemin de fer du Nord* (gare de Paris).

Fig. 517. *Chemin de fer de Lyon* (gare de Paris).

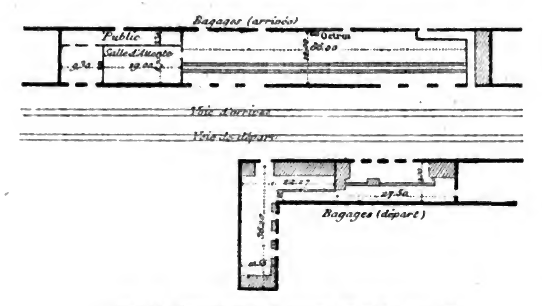


Fig. 518. *Chemins de fer d'Orléans* (gare de Paris).

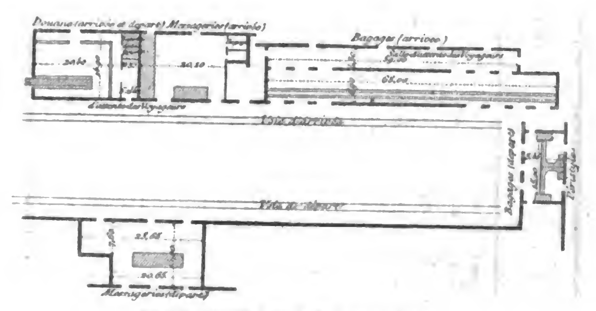


Fig. 519. *Chemin de fer de l'Est* (gare de Paris).

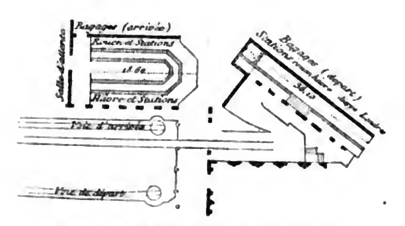


Fig. 520. *Chemin de fer de l'Ouest* (gare de Paris).

	NORD.		LYON.		ORLÉANS.		EST.		OUEST.	
	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.
Longueur des tables...	96,70	»	42,70	»	30,30	»	20,10	»	29,90	»
Largeur *Id.*	0,80	»	0,80	»	0,95	»	1,00	»	1,00	»
Surface.................... ..	»	77,36	»	34,16	»	28,70	»	20,10	»	29,90
Surface des bureaux	»	21,06	»	26,18	»	105,97	»	14,40	»	13,12
Espace des voyageurs......	»		»		»		»		»	
Largeur.............	»		4,60	»	4 et 2,25	»	4,35	»	3,85	»
Longueur	»		49,20	»	39,45	»	»		36,00	»
Surface.....................	»	468,54	»	226,32	»	136,88	»	45,75	»	138,60
Espace de la Compagnie.....	»		»		»		»		»	
Largeur.............	»		4,30	»	4,10 et 2,60	»	3,10	»	1,15	»
Surface.....................	»	160,13	»	282,43	»	178,23	»	46,50	»	34,38
Salle des bagages.....	»		»		»		»		»	
Longueur	23,80	»	59,70	»	49,70	»	15,00	»	36,00	»
Largeur....	30,55	»	9 70	»	9,05	»	8,45	»	6,00	»
Surface totale..................	»	729,09	»	579,09	»	449,78	»	126,75	»	216,00

Arrivée. — Les salles d'arrivée placées parallèlement à la voie correspondante dans la longueur de la gare affectent toutes la même disposition générale, deux rangées de tables occupant toute la longueur de la salle. Les bagages pénétrant dans cette salle par un grand nombre de portes s'ouvrant sur le quai, sont classés et placés par station sur la première table, et de là transportés sur la seconde, peu distante de la précédente, à mesure que les voyageurs présentent leurs bulletins aux agents de la Compagnie installés dans l'espace qui sépare ces deux tables : c'est sur cette seconde table, habituellement plus basse que la première, que se fait la visite de l'octroi et c'est à elle que finit la responsabilité de la Compagnie. — Le bureau de perception de l'octroi est situé dans cette salle sur Orléans et Lyon et en dehors au Nord et à l'Est.

Pour faire arriver le voyageur dans la salle où il doit réclamer ses colis, il y a deux dispositions distinctes : 1° le voyageur est amené, au sortir du wagon, directement dans la salle des bagages (Nord) et ne se trouve alors séparé que par la deuxième table des facteurs de l'Administration ; 2° le voyageur se rend d'abord dans une salle d'attente (Lyon, Orléans, Est), où il attend que les colis soient classés sur la première table, sans pouvoir par son impatience et ses réclamations gêner le service. — Cette pièce d'attente est placée dans le prolongement de la salle des bagages sur Lyon et Orléans ; sur l'Est, elle est disposée parallèlement à cette dernière, et on y trouve l'avantage que le voyageur, séparé de la salle de distribution par une simple barre de bois mobile, peut circuler de manière à chercher d'avance le point où il doit se présenter, et cette disposition empêche la confusion de personnes circulant en tous sens à la recherche de leurs bagages au moment de la distribution.

Lyon et Orléans, pour rendre le service encore plus rapide, ne laissent pénétrer dans les salles d'attente que les personnes munies de leur bulletin : le reste du convoi s'écoule directement dans la cour par un passage attenant, où un bureau d'octroi permet l'acquittement des droits aux personnes n'ayant que des paquets. Dans cette salle d'attente et séparée seulement par une cloison à claire-voie ou grillagée, est un couloir destiné au public attendant les voyageurs.

	NORD.		LYON.		ORLÉANS.		EST.		OUEST.	
	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.
Salle des bagages.........	»		»		»		»		»	
Longueur............	65,70	»	69,60	»	66,00	»	68,00	»	25,20	»
Largeur	9,85 et 14	»	10,95	»	12,00	»	6,90	»	16,30	»
Surface....................	»	753,15	»	762,12	»	792,00	»	469,20	»	410,76
Longueur des tables..	131,40	»	139,20	»	132,00	»	136,00	»	87,30	»
Largeur.............	0,70	»	0,80	»	0,70	»	0,80	»	0,09	»
Surface....................	»	82,00	»	111,36	»	92,14	»	108,80	»	78,57
Largeur entre les deux........	1,00	»	0,75	»	0,95	»	0,80	»	1,10	»
» pour la Compagnie..	1,60	»	1,60	»	2.10	»	0,80	»	3,12 (moy.)	»
» pour les voyageurs...	5,50 (moyenne)	»	6,00	»	7,55	»	3,70	»	4,18	»
» pour fosses à wagons.	3,40	»	»		»		»		»	
Surface pour la Compagnie......	»	170,82	»	163,56	»	201,56	»	108,80	»	262,95
» pour les voyageurs.....	»	350,75	»	417,60	»	498,30	»	251,60	»	75,24
Salle d'attente......	»		»		»		»		»	
Longueur............	»		29,40	»	19,00	»	59,00	»	16,20	»
Largeur	»		15,10	»	12,00	»	4,20	»	3,60	»
Surface....................	»		»	443,94	»	228,00	»	247,80	»	58,32
Surface de la fosse............	»	223,38	»		»		»		»	
Total pour l'arrivée........	»		»		»		»		»	
Longueur............	65,70	»	99,00	»	85,00	»	68,00	»	28,80	»
Largeur............	9,85 et 14	»	10,95 et 15,10	»	12,00	»	6,90 et 11,10	»	16,30	»
Surface totale	»	753,15	»	1206,06	»	1020,00	»	716,80	»	469,08

2° ARTICLES DE MESSAGERIES.

Départ. — La salle de départ est attenante à celle des bagages, sauf à l'Est où ces deux salles sont assez éloignées. Elle comprend un bureau unique (Lyon, Nord, Est), ou une série de bureaux (Orléans) se rapportant aux embranchements et rendant les mêmes services que la division identique faite pour les bagages. Lyon, seul, emploie une table; à l'Est il y a quelques tablettes contre certaines parties du mur, et des séparations verticales divisant les colis d'après leur destination.

	NORD.		LYON.		ORLÉANS.		EST.	
	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.
Longueur des tables.	»		12,25	»	»		»	
Largeur...........	»		0,80	»	»		»	
Surface.................	»		»	9,80	»		»	
Surface des bureaux......	»	47,97	»	47,75	»	62,20	»	35,55
» réservée au public.	»	81,00	»		»		»	
» » à la Cie...	»	463,72	»		»		»	
» commune........	»		»	246,62	»	197,56	»	335,00
» de la Consigne....	»	27,50	»		»		»	
Surface de la Messagerie..	»		»		»		»	
Longueur.......	42,15	»	31,85	»	27,20	»	28,65	»
Largeur........	16,40 et 10 80	»	9,55	»	9,55	»	15.00 et 7,60	»
Surface totale...........	»	620,19	»	304,17	»	259,76	»	370,55

Arrivée. — La salle d'arrivée est attenante (Lyon, Orléans, Nord) à celle des bagages, ou peu distante (Est). Le public et les agents de la Compagnie ne sont pas séparés pour la manutention des colis : l'espace leur est commun. Lyon seul fait exception; des tables disposées en escalier pour que la circulation dans la salle ne soit coupée en aucun sens, séparant le public et l'Administration de la même manière que dans la salle des bagages. L'Est comprend, de plus que les autres lignes, une consigne pour les colis visités par l'octroi et une seconde pour ceux qui n'ont pas encore subi de visite.

En général, les salles de messageries présentent de nombreuses issues sur la cour extérieure.

	NORD.		LYON.		ORLÉANS.		EST.	
	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.
Surface des bureaux......	»	194,54	»	54,75	»	48,00	»	61,09
» commune.........	»	147,96	»	269,37	»	18,00	»	223,76
» de la Consigne....	»		»		»		»	44,64
Longueur......	25,00	»	29,60	»	5,50	»	20,10	»
Largeur	13,70	»	10,75	»	12,00	»	14,90	»
Surface totale............	»	342,50	»	324,12	»	66,00	»	329,49

3° DOUANES.

Lyon et Orléans n'ont pas de bureaux de douane.

L'Est concentre dans le même local l'arrivée et le départ. Il y a salle d'attente pour les voyageurs, bureau pour le payement des droits, table pour les colis et une fosse pour deux wagons pénétrant dans l'intérieur de la salle et dont la voie s'embranche sur des voies de garage.

Le Nord fait ce service sur une plus grande échelle : il fait la distinction entre le départ et l'arrivée. Le départ se fait sous des halles à quai disposées comme pour les marchandises ordinaires.

L'arrivée comprend une vaste salle, avec pièce d'attente, bureaux, tables. Une voie, s'embranchant sur celle d'arrivée au moyen d'une plaque tournante, traverse la salle de la douane, permet en se bifurquant de laisser à demeure quatre wagons plombés dans l'intérieur, et ressort sur des voies de garage par le bout opposé. Un corps de garde de douaniers, une consigne pour les colis non réclamés, et une seconde solidement fermée pour les articles de valeur, complètent cette installation.

Au contraire des salles de bagages où le plus grand espace, ou au moins un espace égal est réservé au public, ici la part des voyageurs est extrêmement réduite du moment qu'il pénètre dans la salle des douanes : cette condition est commandée pour la plus grande facilité du déchargement des wagons.

	NORD.		LYON.	ORLÉANS.	EST.	
SALLE D'ATTENTE :	m.	m. q			m	m. q.
Longueur...........	22,30	»	»	»	10,30	»
Largeur.................	9,20	»	»	»	3,85	»
Surface.................	»	205,16	»	»	»	39,66
TABLES :						
Longueur................	73,00	»	»	»	30,95	»
Largeur................ .	1,00	»	»	»	0,80	»
Surface.....	»	73,00	»	»	»	24,76
Surface des bureaux......	»	337,17	»	»	»	20,29
» réservée au public	»	113,57	»	»	»	71,19
» » à la Cie...	»	505,00	»	»	»	221,62
» de la Consigne....	»	121,35	»	»	»	»
SALLE TOTALE :						
Longueur................	61,80	»	»	»	24,20	»
Largeur.................	22,30	»	»	»	15,60	»
Surface totale...........	»	1378,14	»	»	»	377,52

4° MARCHANDISES A GRANDE VITESSE.

Ce service se fait sous des halles en dehors de la surface couverte de la gare. Lyon fait construire un hangar de 100 mètres de long sur 14 mètres de large, avec voie d'un côté du quai et pavage de l'autre pour le camionnage, disposition également adoptée sur le Nord. C'est au reste un service qui ressort des conditions dans lesquelles se trouvent les trois services précédents, n'exigeant ni la même célérité dans le même temps, ni les mêmes précautions à cause du volume des colis.

RÉCAPITULATION.

	NORD.		LYON.		ORLÉANS.		EST.		OUEST.
	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.
BAGAGES :									
Départ.........	729,09	»	579,09	»	449,78	»	126,75	»	216,00
Arrivée.........	753,15	»	1206,06	»	1020,00	»	716,80	»	469,08
Surface totale..	»	1482,24	»	1785,15	»	1469,78	»	843,55	»
MESSAGERIES :									
Départ.........	620,19	»	304,17	»	259,76	»	370,55	»	»
Arrivée.........	342,50	»	324,12	»	66,00	»	329,49	»	»
Surface totale..	»	962,69	»	628,29	»	325,76	»	700,04	»
DOUANES....	»	1378,14	»		»		»	377,52	»
Surface totale...	3823,07	»	2413,44	»	1795,54	»	1921,11	»	»

COMPARAISON DES SURFACES DE DÉPART ET D'ARRIVÉE.

	NORD.	LYON.	ORLÉANS.	EST.	ROUEN Ouest.	OUEST Projet.
	m. q.	m. q.	m. q.	m. q.	m. q.	m. q.
Départ.....	1349,28	883,26	709,54	497,30	216,00	1892,00
Arrivée.....	2473,77	1530,18	1080,00	1423,81	469,08	2080,00

Il faut remarquer dans ces chiffres, que Lyon et Orléans n'ont pas de douanes, qu'à l'Est, le même espace sert pour le départ et l'arrivée des colis plombés et que la salle des bagages à l'arrivée est totalement insuffisante.

CHEMIN DE FER DE PARIS A STRASBOURG.

OUTILLAGE DES ATELIERS D'ÉPERNAY.

1° *Atelier d'ajustage.*

3 machines	2 machines à vapeur de 25 chevaux.	41 000	»
	2 chaudières.	15 100	»
	1 petite machine à vapeur de 4 chevaux, pour élever l'eau dans le réservoir.	4 000	»
10	1 tour à roues motrices de machines Crampton. . .	20 000	»
	2 tours à roues motrices de machines ordinaires. .	33 000	»
	2 tours à petites roues de machines.	22 800	»
	5 tours à roues de tenders et de wagons.	43 000	»
28	2 gros tours parallèles de 0m,500 de hauteur de pointes.	22 000	»
	2 tours parallèles à fileter.	7 100	»
	1 tour à recentrer les essieux.	5 650	»
	1 tour sphérique.	4 400	»
	2 tours parallèles à engrenage. Hauteur des pointes. . . . . 0m,420.	5 500	»
	2 tours parallèles à engrenage. *Id.* . . 0m,370.	4 500	»
	1 tour à fileter.	1 000	»
	3 petits tours parallèles. Hauteur des pointes 0m,200.	2 250	»
	7 tours simples.	7 200	»
	2 tours simples à quatre poupées pour fileter les entretoises de foyer.	2 500	»
	1 tour simple à fileter les entretoises et tourner les écrous.	1 500	»
	4 tours simples et à engrenages à bancs de bois. . .	2 750	
8	1 gr. mach. à raboter. Course 3m,100 ; larg. 1m,45.	8 000	»
	1 *Id.* *Id.* 3m,000 ; *Id.* 0m,50.	3 000	»
	1 *Id.* *Id.* 1m,300 ; *Id.* 0m,70.	2 000	»
	2 *Id.* *Id.* » *Id.* 0m,50.	5 600	»
	2 *Id.* *Id.* 1m,500 ; *Id.* 0m,50.	4 800	»
	1 petite *Id.* *Id.* 0m,250 ; *Id.* 0m,24.	500	»
4	1 grande limeuse Wittwerth.	4 500	»
	3 petites limeuses.	4 200	»
4	1 grande machine à mortaiser.	11 540	»
	1 moyenne *Id.*	5 940	»
	2 petites *Id.*	5 660	»
1	1 machine à alaiser les trous des boutons des manivelles des roues motrices.	3 880	»
2	1 grande machine à tarauder.	750	»
	1 petite machine à tarauder.	250	»
10	1 machine à percer radiale.	4 000	»
	1 machine à percer à colonnes.	750	»
	1 machine à percer les trous des rivets des bandages.	500	»
	7 machines à percer montées sur les colonnes des ateliers.	7 400	»
	A reporter.	318 520	»

Report	318 520	»
5 auges en fonte pour meules à repasser	1 250	»
1 machine à essayer l'huile	500	»
1 presse hydraulique à caler les roues	2 100	»
1 scie circulaire	600	»
2 marbres à dresser	1 020	»
1 roue en bois pour tour	100	»
1 machine à vérifier les balances à ressorts des soupapes de locomotives	450	»
70 étaux d'ajusteurs	4 550	»
120 mètres courants d'établis d'ajusteurs, avec tiroirs	2 400	»
9 plaques tournantes de 2 mètres de diamètre	4 950	»
Total de l'atelier d'ajustage	336 440	336 440
2° *Atelier des bandages de roues et des forges.*		
2 forges doubles à souder les bandages	1 300	»
2 forges simples	1 000	»
3 enclumes	600	»
1 grue en bois pour ces forges	250	»
1 potence en fer	100	»
1 four à chauffer les bandages droits	5 000	»
2 fours circulaires à chauffer les bandages	4 000	»
1 chariot à treuil pour ces fours	2 000	»
1 grue en fonte	3 500	»
1 machine à cintrer et mandriner les bandages	10 000	»
1 cuve à refroidir les bandages	1 000	»
1 gros marteau-pilon de 1500 kilog	13 500	»
1 chaudière et son fourneau, pour ce marteau	5 000	»
1 four à réchauffer	2 000	»
1 marteau-pilon de 250 kilog	4 600	»
1 marteau-pilon de 80 kilog	2 400	»
10 forges maréchales doubles	6 500	»
20 enclumes de 175 kilog. chaque	1 500	»
3 étaux à chaud (450k)	675	»
10 potences en fer	1 000	»
6 soufflets en cuir	900	»
1 grue en bois et fer	250	»
1 ventilateur	750	»
Total de l'atelier des bandages et des forges	67 825	67 825
3° *Atelier des ressorts et chaudronnerie.*		
5 forges doubles	3 250	»
2 forges simples	1 000	»
12 enclumes (150k)	1 800	»
2 étaux à chaud (400k)	560	»
20 étaux d'ajusteurs (50k)	1 280	»
4 marbres en fonte à dresser	750	»
1 machine à cintrer les ressorts	835	»
1 laminoir à ressorts	4 600	»
1 machine à couper les tôles	3 600	»
1 machine à percer les tôles	3 800	»
2 grosses meules à aiguiser	1 000	»
A reporter	23 475	404 265

Report.	23 475	404 265
1 presse à essayer les tubes en laiton	175	»
Cuves et fourneaux à nettoyer et sécher les tubes	600	»
6 soufflets en cuir	900	»
1 ventilateur	700	»
20 mètres d'établis en bois avec tiroirs	350	»
Total de l'atelier des ressorts et chaudronnerie.	25 200	25 200
4° *Atelier de montage des locomotives et tenders.*		
2 chariots roulants pour locomotives	5 000	»
1 chariot roulant pour tenders	2 000	»
2 grues roulantes de montage	10 000	»
1 grande grue à lever les machines et tenders	12 500	»
170 étaux d'ajusteurs	11 050	»
300 mètres courants d'établis et 200 tiroirs avec serrures.	6 000	»
Total de l'atelier de montage	46 550	46 550
Total général	.....	496 015

RÉCAPITULATION.

Atelier d'ajustage	336 440	476 015.
Atelier des bandages de roues et forges	67 825	
Atelier des ressorts et de la chaudronnerie	25 200	
Atelier de montage	46 550	

Nota. Le chiffre de 476 015 fr. ne comprend que l'acquisition des outils ci-dessus; il faudrait ajouter environ 16 pour 100 pour l'installation, comprenant les transmissions de mouvement, les fondations et la pose des outils. (76 160 fr.).

Les voies de fer, grandes plaques tournantes et cheminées des machines à vapeur ne sont pas comprises dans cette dépense.

Pour compléter l'outillage des ateliers d'Épernay, il faudrait :

1 marteau-pilon de 90 kilog.	2 400	25 400.
1 marteau-pilon de 500 kilog.	6 000	
2 grosses forges pour les divers marteaux	3 000	
1 machine radiale	4 500	
1 machine à aléser les cylindres	4 500	
3 ou 4 petits tours	5 000	

CHEMIN DE FER DE PARIS A STRASBOURG.

OUTILLAGE DE L'ATELIER DE MONTIGNY

1° *Atelier d'ajustage.*

1 machine à vapeur horizontale à haute pression, complète avec sa chaudière, ses tuyaux en cuivre, pompe à eau froide, et en général tous les accessoires nécessaires à sa marche, tels que clefs, manomètres, fourneaux, deux chaudières à vapeur. Machine et sa chaudière. . . . . 15 000f 00; Nouvelle chaudière. . . . . 3 113 60; Fourneau et tuyaux. 3 500 00	31 613f 60	»
1 réservoir à eau alimentant la machine à vapeur et les bornes-fontaines des ateliers avec tuyaux en cuivre, robinets, etc.	1 500 »	»
16 colonnes en fonte supportant la transmission du mouvement des machines à percer et des treuils. .	2 750 »	»
2 treuils tournants fixés aux colonnes.	330 »	»
1 tour parallèle de 0m,330 de hauteur de pointes, banc en fonte de 4m,200 de longueur avec chariot, etc. . .	4 500 »	»
1 tour à essieux de 0m,300 de hauteur de pointes, banc en fonte de 3m,600 de longueur, avec chariot, etc.	2 200 »	»
2 tours parallèles à fileter de 0m,270 de hauteur de pointes, banc en fonte de 3m,700 de longueur avec chariot, etc.	7 100 »	»
1 tour simple de 0m,210 de hauteur de pointes, banc en fonte de 4m,00 de longueur avec support. . . .	1 200 »	»
1 tour simple de 0m,210 de hauteur de pointes, banc en fonte de 2m,400 de longueur avec support, etc.	900 »	»
1 petit tour à fileter à banc triangulaire de 1m,500 de longueur.	750 »	»
1 tour de l'école de Châlons de 0m,300 de hauteur de pointes, banc en fonte de 4m,00 de longueur avec support, etc.	1 400 »	»
1 tour simple de 0m,300 de hauteur de pointes, banc en fonte de 2m,500 de longueur avec support, etc.	700 »	»
1 tour double à tourner les roues motrices avec banc en fonte, 2 chariots, etc.	14 000 »	»
4 tours doubles à tourner les roues de wagons avec banc en fonte, 2 chariots, etc.	35 000 »	»
1 machine à raboter à crémaillère et à plateau mobile, d'une course de 1m et 0m,450 de largeur	2 800 »	»
1 machine à raboter à crémaillère et à plateau mobile d'une course de 1m,500, etc.	2 580 »	»
1 machine à raboter à levier et à plateau mobile, d'une course de 0m,500, etc.	2 800 »	»
1 machine à mortaiser de 0m,140 de course avec bâti en fonte, etc.	2 800 »	»
A reporter.	104 923f 60	»

Report.	104923f60	»
1 machine à mortaiser de $0^{m},200$ de course avec bâti en fonte, etc.	3500 »	»
1 machine à mortaiser de $0^{m},200$ de course avec bâti en fonte, etc.	2335 »	»
1 machine à aléser verticale avec bâti en fonte, tablier circulaire, etc.	2200 »	»
1 étau-limeur complet de $0^{m},140$ de course.	1200 »	»
1 limeuse avec bâti en fonte, etc.	1400 »	»
3 machines à percer fixées aux colonnes avec plateau tournant et variable.	2250 »	»
1 machine à percer radiale avec bâti en fonte et $1^{m},500$ de rayon de développement.	4500 »	»
1 machine à tarauder avec bâti en chêne.	450 »	»
1 marbre à dresser de $2^{m},00$ de longueur avec bâti en chêne.	250 »	»
2 auges en fonte pour meules à aiguiser.	400 »	»
2 forges portatives de $0^{m},60$ carré avec soufflet.	290 »	»
28 étaux d'ajusteurs d'un poids d'environ 50^{k} chacun. .	1820 »	»
40 mètres établis en chêne avec tiroir.	780 »	»
Total.	126298f60	126298f60
2° *Forges et montage.*		
2 forges quadruples avec bâti en fonte et fer, et huit feux de forges, enclumes, etc.	4150 »	»
3 étaux à chaux et un à tarauder.	750 »	»
1 ventilateur de $0^{m},60$ de diamètre et $0^{m},25$ de large. .	650 »	»
20 étaux d'ajusteurs, de monteurs et de chaudronniers.	1300 »	»
1 chariot pour locomotives.	2500 »	»
1 grue roulante.	4500 »	»
1 marteau-pilon.	2400 »	»
1 grande grue pour lever les locomotives.	12500 »	»
Total.	28750f »	28750f »
3° *Atelier des wagons.*		
38 établis de menuisier.	1900 »	»
3 scies circulaires.	1500 »	»
1 tour simple de $0^{m},320$ de hauteur de pointes, banc en fonte de $4^{m},00$ de longueur avec support, etc.	1200 »	»
1 tour à bois de $0^{m},280$ de hauteur de pointes, banc en fonte de $3^{m},00$ de longueur, avec support, etc.	1100 »	»
2 treuils tournants fixés aux colonnes.	330 »	»
1 treuil à engrenage monté sur semelles en bois, montant en fonte.	140 »	»
2 auges moyennes de meules à aiguiser.	300 »	»
3 forges portatives avec tuyaux de fumée.	750 »	»
40 étaux d'ajusteur.	2600 »	»
50 mètres établis avec tiroirs.	1000 »	»
3 chariots à voitures et wagons.	4500 »	»
Total.	15320f »	15320f »
Total général. . . .	. . . . . .	170368f60

RÉCAPITULATION.

Atelier d'ajustage.	126 298f 60	170 368f 60.
Forges et montage	28 750 »	
Atelier de wagons.	15 320 »	

Nota. Le chiffre de 170 368 fr. 60 c. ne comprend que l'acquisition des outils ci-dessus; il faudrait ajouter environ 16 pour 100 (27 260 fr.) pour l'installation, comprenant les transmissions de mouvement, les fondations et la pose des outils.

Les voies de fer, grandes plaques tournantes et cheminées des machines à vapeur ne sont pas comprises dans cette dépense.

Pour compléter l'outillage de cet atelier, il faudrait :

1 presse à caler les roues.	2 500 fr.	16 550 fr.
1 marteau-pilon de 250k.	4 600	
1 machine à raboter.	2 800	
1 limeuse	1 400	
1 scie circulaire	450	
1 grand marbre à dresser.	800	
1 grue pour monter les roues sur le tour. . . .	1 000	
1 grosse meule à aiguiser.	500	
2 petits tours.	2 500	

ATELIER DE LA VILLETTE ET CARROSSERIE.

1	Machine à vapeur de 16 chevaux à haute pression sans condensation avec ces deux chaudières.	20 400 fr.
	Fourneau et tuyaux.	4 500
1	Machine à monter l'eau, avec sa chaudière et son fourneau. . .	4 500
5	tours à roues de wagons.	50 000
1	tour parallèle à fileter.	3 600
1	tour à bois	1 100
1	tour à boulons.	900
1	machine à raboter.	2 580
1	machine à mortaiser.	2 335
2	petites limeuses.	2 800
1	grande machine à percer.	1 785
2	petites machines à percer.	1 000
2	meules à aiguiser.	400
5	petites plaques tournantes à raison de 550 fr.	2 750
2	forges doubles avec enclumes et étau à chaud.	2 340
1	ventilateur.	750
80	étaux d'ajusteurs à raison de 65 fr.	5 200
125	mètres d'établis d'ajusteurs.	2 255
1	chariot pour les machines.	2 500
1	chariot pour les wagons.	600
1	grue pour lever les machines.	12 500
2	scies circulaires.	1 000
	Total.	125 795 fr.

La somme de 125 795 fr. ne représente que la dépense pour l'acquisition des outils ; il faudrait ajouter environ 16 pour 100, soit une somme de 20 000 fr. pour leur installation, transmissions de mouvement, fondations et pose.

Pour compléter l'outillage il faudrait :

1 petit marteau-pilon évalué.	2 400 fr.
1 scie verticale.	4 000
1 tour à roues de locomotives.	14 000
1 machine à faire des coins.	1 000
1 grande meule à aiguiser.	500
Total.	21 900 fr.

LONGUEUR DES HALLES COUVERTES DE PLUSIEURS GARES DE CHEMINS DE FER.

100 mètres de longueur couvrent un train de 15 voitures.

Gare du Mans.	130m 00
Gare de Nantes.	120 00
Gare de Bordeaux.	120 00
Gare des Aubrais.	120 00
Gare de Toulouse.	100 00
Gare de Wissembourg.	94 00
Gare de Nevers.	71 40

Cette dernière gare n'est encore que la tête d'un embranchement de 12 kilomètres.

Halle des marchandises de Toulouse.	150m sur 22m.
Halle des marchandises de Limoges.	100 sur 20

(*Extrait des Nouvelles Annales de la construction*).

PRIX DIVERS DU MATÉRIEL.

Prix d'une locomotive à voyageurs Stephenson.	52 000 fr.
Id. à 4 roues couplées (au commencement de 1852)	41 950
Id. *id.* (fin 1852).	49 500
Id. à marchandises (poids 24 t.).	53 000
Id. Crampton (au commencement de 1852).	52 000
Id. *id* (actuellement).	66 000
Id. à marchandise (très-puissante avec tender, mod. Sommering).	115 000
Id. tender pour service des gares.	40 000
Prix d'un tender de machine Stephenson contenant 5e d'eau, pesant 8300 kil.	10 800
Id. Crampton cont. 6e d'eau, pesant 10 t.	13 000
Prix d'une voiture de 1re classe (modèle Strasbourg, roues et ressorts compris).	11 287 fr.

Prix d'une voiture de 1re classe à coupé	(modèle Strasbourg). . .			12 000 fr.
Id.	de 2e classe	(*Id.*	sans guérite). . . .	5 660
Id.	*id.*	(*id.*	avec guérite et freins)	6 680
Id.	mixte	(*id.*	).	8 080
Id.	3e classe	(*id.*	sans guérite)	5 225
Id.	*id.*	(*id.*	avec guérite et freins)	6 125
Longueur de caisse de 1re		(*id.*	).	5m 50
Id.	2e	(*id.*	).	5 00
Id.	3e	(*id.*	).	5 75

Prix d'un wagon à bagages.	5 595 fr.
Id. à bestiaux.	3 935
Id. à houille (pouvant porter 10 tonnes).	3 740
Id. plat à marchandises.	3 250
Prix d'un truck à chaises de poste.	3 500
Prix d'un wagon mixte du Midi en bois de *teack*. Longueur de la caisse 7m, sans roues, ressorts, boîtes à graisse et plaques de garde.	11 000
Prix d'une voiture de 1re classe d'Orléans en teack. Longueur 6m sans roues, ressorts, boîtes à graisse.	12 000
Prix d'une machine à marchandises (Engerth).	107 000
Id. paire de roues montée (Strasbourg) pesant 750 kil. . .	547,50
Prix d'une boîte à graisse ancien modèle	18
Id. nouveau modèle	27
Prix des ressorts acier fondu (actuellement).	1,30
Poids d'un ressort de suspension pour wagon de 10 tonnes. . . .	35 k.
Id. traction *id.*	60
Id. suspension de voiture à voyageurs.	45
Id. traction *id.*	70

CONSOMMATION COMPARATIVE DE LA HOUILLE ET DU COKE DANS LES LOCOMOTIVES DU CHEMIN DE FER DU NORD.

Les résultats obtenus par la substitution de la houille au coke ont été plus avantageux, pendant le mois d'octobre dernier, que dans les mois précédents, par suite de l'amélioration de la qualité des fournitures du charbon et de la décroissance sensible de la qualité du coke.

1° Sept machines Crampton ont fait, avec les nouvelles grilles, 33 193 kilomètres en consommant 251 900 kilogrammes de houille à 27 francs la tonne, rendue à la frontière, soit par kilomètre. . . . . 7 kil. 6
et en argent. . . . . 0 fr. 205

Quatorze autres machines Crampton ont fait, avec les anciennes grilles, 57 616 kilom., en consommant 493 750 kil. de coke, à 33 fr. la tonne, rendue à la frontière, soit par kilomètre. 8 kil. 6
et en argent. . . . . 0 fr. 282

Économie par kilomètre 0f,077, et pour 33 193 kilom., 2555 fr.

Les sept machines à la houille ont fait, depuis l'application de leurs grilles inclinées, 170 061 kilom., en consommant 1 315 350 kil. de houille, soit par kilomètre. . . . . 7 kil. 7

Les autres machines du même système ont fait, pendant le même temps, avec les grilles ordinaires, 352 868 kilom., en consommant 2 958 671 kil. de coke, soit par kilomètre. . . . . 8 kil. 3

2° La machine à voyageurs à petit foyer n° 85 a fait, avec la nouvelle grille, 4156 kilomètre, en consommant 33 100 kil. de houille, soit par kil. 8 kil.
et en argent . . . . 0 fr. 215

Neuf autres machines du même système ont fait, avec les grilles ordinaires, 28 781 kil., en consommant 250 760 kil. de coke, soit par kilom. . . 8 kil. 7
et en argent. . . . . 0 fr. 287

Économie par kilomètre $0^f,072$ et pour 4156 kilom., 299 fr.

La machine n° 85 a fait, depuis l'application de sa grille, 18,058 kilom., en consommant 137 400 kil. de houille, soit. . . . . 7 kil. 6
et, pendant que les autres machines semblables ont fait, avec les anciennes grilles 123 513 kilom., en consommant 1 036 690 kil. de coke, soit . 8 kil. 4

3° Quatre machines à marchandises, à petit foyer, ont fait, avec les nouvelles grilles, 18 235 kilom., en consommant 160 400 kil. de houille et de briquettes, soit par kilomètre . . . . 8 kil. 8
et en argent. . . . . 0 fr. 237

Six autres machines du même système et du même service ont fait, avec les grilles ordinaires, 19 410 kilom., en consommant 199 460 kil. de coke, soit par kilomètre . . . . 10 kil. 2
et en argent. . . . . 0 fr. 338

Économie par kilom. 0,101, et pour 18 235 kilom., 1841 fr.

Les quatre machines à la houille ont fait, depuis l'application de leurs grilles inclinées, 67 737 kilom., en consommant 569 700 kil. de houille, soit par kilomètre. . . . . 8 kil. 4
pendant que les autres machines ont fait, avec les anciennes grilles, 246 712 kilomètres, en consommant 2 488 472 kil. de coke, soit. . . . . 10 kil. 1

4° Quarante-cinq grosses machines à marchandises ont fait, pendant le dernier mois, avec les nouvelles grilles, 143 651 kilomètres et ont consommé 1 947 210 kil. de houille et de briquettes, soit par kilom. . . . . . . 13 kil. 6
et en argent . . . . 0 fr. 366

Trente-deux de ces machines, faisant déjà le service en 1854, ont fait, pendant le mois correspondant, 88 697 kilom., en consommant, avec leurs anciennes grilles, 1 415 090 kil. de coke, soit par kilom. . . . . 15 kil. 9
et en argent. . . . . 0 fr. 526

Économie par kilom. 0,16 et pour 143,651 kilom., 22 984 fr.

Deux machines seulement de ce système, n°s 459 et 460, ont fait encore le service du mois dernier, avec un mélange de charbon et de coke brûlé sur les anciennes grilles, leur parcours a été de 7094 kilom. et la consommation :

20 390	kil. de houilles et briquettes.
102 440	de coke.
122 830	kil., soit par kilomètre. . . . . 17 kil. 2

Ces quarante-cinq machines à la houille ont fait, depuis l'application de leurs grilles nouvelles, 416 538 kilom., en consommant 5 430 760 kil. de houille et de briquettes, soit par kilomètre. . . . . 13 kil. 1

RÉSUMÉ

DE L'ÉCONOMIE RÉALISÉE PENDANT LE MOIS D'OCTOBRE 1855.

1° Sept machines Crampton.	2 555 fr.
2° La machine à voyageur, à petit foyer, n° 85.	299
3° Quatre machines à marchandises à petit foyer. . . .	1 841
4° Quarante-cinq grosses machines à marchandises. . .	22 984
Total de l'économie réalisée par 57 machines. .	27 679 fr.

Les résultats obtenus au chemin de fer d'Orléans, jusqu'à la fin du mois de septembre dernier, sont :

1° La machine n° 264, des trains express, du dépôt d'Ivry, a fait, depuis l'application de sa grille, 18 248 kilom., en consommant 95 708 kil. de houille, soit par kilom . . . . 5 kil. 25

Les autres machines du même système ont fait, pendant le même temps, avec les grilles ordinaires, 226 041 kilom , en consommant 1 392 538 kil. de coke, soit par kilomètre. . . . . 6 kil. 1

2° Trois machines à marchandises du dépôt d'Ivry ont fait, avec les nouvelles grilles, 31 715 kilom., en consommant 336 269 kil. de houille, soit par kilomètre. . . . . 10 kil. 6
pendant que les autres machines du même système et du même dépôt ont fait, avec les anciennes grilles, 64 708 kilom., en consommant 753 210 kilom. de coke, soit par kilomètre. . . . . 11 kil. 6

3° Quatre machines à marchandises du dépôt de Bordeaux ont fait, avec les nouvelles grilles, 19 910 kilom., en consommant 188 719 kil. de charbon de choix de Cardiff, soit par kilomètre. 9 kil. 5

Les autres machines du même dépôt, alimentées avec du coke de mauvaise qualité, ont fait, avec les anciennes grilles, 31 693 kilomètres, en consommant 366 014 kil. de coke, soit. . . . . 11 kil. 5

4° Neuf machines du dépôt d'Orléans ont fait, avec les nouvelles grilles, 55 752 kilomètres, en consommant 629 464 kil. de houille de diverses provenances, soit par kilomètre . . . . 11 kil. 3

Les autres machines du même dépôt ont fait, avec les grilles ordinaires, 262 847 kilomètres, en consommant 3 073 049 kil. de coke, soit par kilomètre. . . . . 11 kil. 7

5° Quatre machines à marchandises du dépôt de Tours ont fait, avec les nouvelles grilles, 14 368 kilom., en consommant 152 265 kil. de diverses houilles d'essai, soit par kilomètre. . . . . 10 kil. 6

Les autres machines du même dépôt ont fait, avec les grilles ordinaires, 25 977 kilomètres, en consommant 262 238 kil. de coke, scit. . . . 10 kil. 1

FIN.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE PREMIER VOLUME.

DOCUMENTS.

TABLE ANALYTIQUE DU SECOND VOLUME.

DOCUMENTS.

FIN DES TABLES ANALYTIQUES.

TABLE ALPHABÉTIQUE.

FIN DE LA TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES.

ERRATA.

1er VOLUME.

Page 37, ligne 32, *au lieu de :* partant de Modene, *lisez :* Modane.

Page 70, ligne 14, *au lieu de :* à Calais de 158 kilomètres, *lisez :* 58 kilomètres.

Page 83 (note), *au lieu de :* Voir la note sur les frais de traction du chemin de Reims, p. 186, *lisez :* p. 86.

Page 259 (titre courant), *au lieu de :* moyenne des prix de consommation, *lisez :* construction.

Page 279 (tableau), *au lieu de :* nous avons vu qu'il serait utile, *lisez :* nous avons cru qu'il serait utile.

Page 287, ligne 2, *au lieu de :* d'empierrement que pour une seule, *lisez :* d'emprunt que pour une seule.

Page 331, ligne 2, *au lieu de :* et qui s'élèvent de 20 à 25 fr. par mètre, *lisez :* de 0f,20 à 0f,25 par mètre.

Page 345, ligne 35, *au lieu de :* ce chemin occupe entre Saint-Avold, *lisez :* ce chemin coupe.

Page 397, ligne 15, *au lieu de :* comme l'indique la fig. 76, *lisez :* fig. 75.

Page 400, ligne 10, *au lieu de :* la durée de la traverse dont l'aubier est toujours la première détruite, *lisez :* la durée de la traverse dont l'aubier est toujours la première partie détruite.

Page 401, ligne 4, *au lieu de :* petit diamètre a, *lisez :* petit diamètre A.

Page 403, ligne 22, *au lieu de :* nouveau système de voie, *lisez :* nouveaux systèmes de voie.

Page 406, ligne 31, *au lieu de :* (Voir page 393), *lisez :* page 392.

Page 409, ligne 1, *au lieu de :* celui d'exclure complétement les vis, *lisez :* d'exclure complétement le bois.

Page 411, ligne 1, *au lieu de :* serrer et de la retirer sans efforts, *lisez :* poser et de retirer la cale sans efforts.

Page 411, ligne 11, *au lieu de :* une vis en bois dont les dimensions, *lisez :* une vis à bois.

Page 419, ligne 28, *au lieu de :* enfin l'on n'admet que des bois qui aient moins de deux ans de coupe, *lisez :* enfin l'on n'admet pas des bois qui aient moins de deux ans de coupe.

Page 422, ligne 15, *au lieu de :* en sorte que les rues des voitures, *lisez :* en sorte que les roues des voitures.

Page 444, ligne 14, *au lieu de :* que le rayon soit de 5 degrés et demi, *lisez :* que l'ouverture soit de 5 degrés et demi.

ERRATA.

IIe VOLUME.

Page 21, ligne 17, *au lieu de :* dans tous les cas, qu'aux chemins à une voie, *lisez :* qu'aux chemins à deux voies.

Page 95, ligne 3, *au lieu de :* les sections de 3e et 4e classe, *lisez :* les stations de 3e et 4e classe.

Page 125, ligne 10, *au lieu de :* mm en bois, *lisez :* MM eu bois.

Page 227, ligne 29, *au lieu de :* dans l'intérieur, *lisez :* ou dans l'intérieur.

Page 231, ligne 26, *au lieu de :* un grand nombre de ces cylindres, *lisez :* un grand nombre d'essieux coudés.

Page 298, ligne 1, *au lieu de :* cette derrière disposition, *lisez .* cette dernière disposition.

Page 316, ligne 19, *au lieu de :* le poids de la vapeur qui a été représentée, *lisez :* qui a été dépensée.



